



**UNIVERSITÀ DI PISA**

Dipartimento di Medicina Clinica e Sperimentale  
Direttore Prof. Mario Petrini

Dipartimento di Patologia Chirurgica, Medica,  
Molecolare e dell'Area Critica  
Direttore Prof. Riccardo Zucchi

Dipartimento di Ricerca Traslazionale e delle Nuove  
Tecnologie in Medicina e Chirurgia  
Direttore Prof. Giulio Guido

---

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN  
MEDICINA E CHIRURGIA**

Esperienza quinquennale di una singola unità  
operativa nella chirurgia laparoscopica del colon  
sinistro: dati clinici, curva d'apprendimento e sue  
applicazioni.

Candidato

Sig/ra Stella Zandri

Relatore

Chiar.mo Prof. Piero Buccianti

**ANNO ACCADEMICO: 2014/2015**

*A mio padre Fausto*

<b>1</b>	<b>ANATOMIA DELL'INTESTINO CRASSO – CONSIDERAZIONI GENERALI .....</b>	<b>1</b>
1.1	IL CIECO E L' APPENDICE .....	2
1.2	IL COLON .....	2
1.3	IL RETTO E IL CANALE ANALE .....	4
1.4	ISTOLOGIA.....	7
1.5	APPORTO SANGUIGNO .....	8
1.6	EMBRIOLOGIADELL' INTESTINO CRASSO .....	10
<b>2</b>	<b>LA CURVA D'APPRENDIMENTO: UN'INTRODUZIONE GENERALE .....</b>	<b>11</b>
2.1	DEFINIZIONE .....	11
2.2	L'EVOLUZIONE STORICA DELLA CURVA D'APPRENDIMENTO .....	11
2.3	IL MODELLO CLASSICO DELLA CURVA D'APPRENDIMENTO .....	12
2.4	LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA.....	12
2.5	APPLICAZIONI PRATICHE .....	14
2.6	CURVA D'APPRENDIMENTO IN CHIRURGIA .....	15
<b>3</b>	<b>CURVE D'APPRENDIMENTO IN CHIRURGIA LAPAROSCOPICA COLORETTALE.....</b>	<b>19</b>
3.1	COSTRUIRE UNA CURVA D'APPRENDIMENTO: L'ESPERIENZA DI ALCUNI AUTORI .....	20
3.2	MINIMIZZARE LA CURVA D'APPRENDIMENTO: È POSSIBILE?.....	22
<b>4</b>	<b>FINALITÀ DELLA TESI.....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>PAZIENTI E METODI .....</b>	<b>29</b>
5.1	SELEZIONE DEI PAZIENTI .....	29
5.2	RACCOLTA DEI DATI.....	29
5.3	DATABASE .....	30
5.4	L'ESPERIENZA DEGLI OPERATORI .....	31
5.5	LA TECNICA OPERATORIA-EMICOLECTOMIA SINISTRA .....	32
5.6	ANALISI DEI DATI .....	35
<b>6</b>	<b>RISULTATI.....</b>	<b>38</b>
6.1	CURVA CUSUM PER SINGOLO OPERATORE-TEMPO OPERATORIO .....	44
6.2	CURVA CUSUM PER COPPIE DI OPERATORI-TEMPO OPERATORIO .....	47
6.3	CURVA DELLA MEDIA MOBILE PER SINGOLO OPERATORE-TEMPO OPERATORIO .....	48
6.4	CURVA DELLA MEDIA MOBILE PER COPPIE DI OPERATORI-TEMPO OPERATORIO .....	52
6.5	CURVA CUSUM PER SINGOLO OPERATORE-CONVERSIONE OPEN .....	54
<b>7</b>	<b>DISCUSSIONE.....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>NOTE BIBLIOGRAFICHE.....</b>	<b>62</b>

# 1 Anatomia dell'intestino crasso – Considerazioni generali

L'intestino crasso consiste del colon, del retto e del canale anale.

Il colon destro comprende l'appendice, il cieco, il colon ascendente, la flessura epatica e la porzione prossimale del colon trasverso.

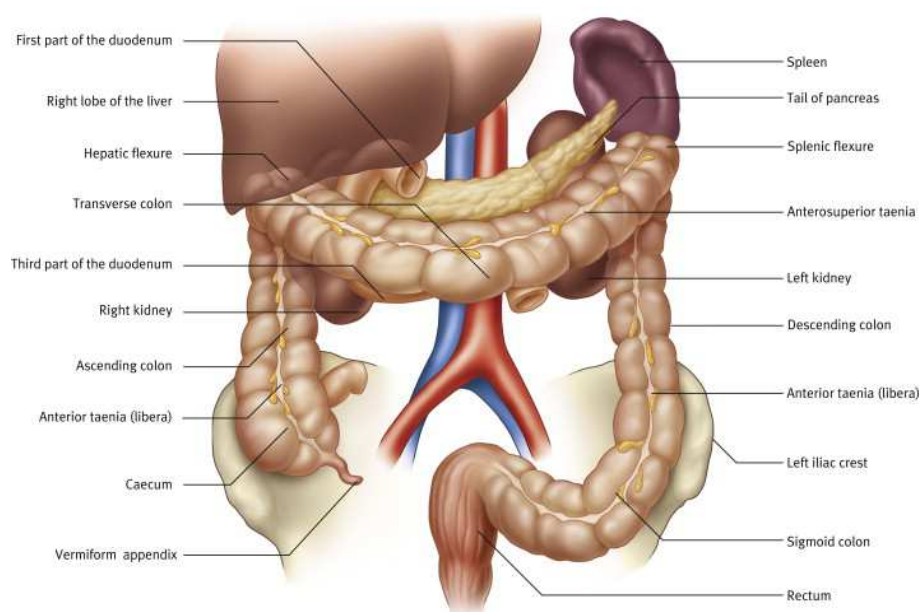
La parte distale del colon trasverso, la flessura splenica, il colon discendente e il colon sigmoideo sono parte del colon sinistro.

Le porzioni ascendenti e discendenti sono retroperitoneali, mentre il colon trasverso e il sigmoideo sono sospese nella cavità peritoneale tramite i loro mesocolon. Il calibro del lume del colon è maggiore a livello del cieco e diminuisce procedendo distalmente[1].

L'intestino crasso si distingue dal piccolo intestino attraverso specifiche caratteristiche:

- *Teniae coli*: tre ispessimenti nastriformi costituiti da muscolo liscio che decorrono in senso longitudinale sulla parete del colon.
- Austrature (o *Haustra*): tasche presenti tra due pliche mucose trasversali del colon.
- Appendici epiploiche: piccole sacche costituite di peritoneo piene di lipidi e situate lungo il colon, ma anche in prossimità del tenue e lungo la parte superiore del retto.
- Calibro: il lume del colon è maggiore in diametro rispetto al piccolo intestino.

Figura 1-L'intestino crasso



## **1.1 Il cieco e l'appendice**

Il cieco è la prima porzione del grosso intestino ed è in continuità con il colon ascendente. Consiste in una tasca a fondo chiuso situata nel quadrante inferiore destro, dove giace nella fossa iliaca inferiormente alla giunzione con l'ileo terminale. Solitamente è avvolto per la quasi totalità da peritoneo, può essere sollevato e non ha mesentere. L'ileo si connette con il cieco in maniera obliqua, formando l'orifizio ileale, dove si trova la valvola ileocecale[2].

Si tratta della porzione di intestino crasso più soggetta a perforazione, a causa del suo maggior calibro, come viene spiegato dalla legge di Laplace: la pressione intraluminale necessaria per stirare la parete di un viscere cavo è inversamente proporzionale al suo raggio. Il cieco è la porzione di intestino di maggior diametro, di conseguenza richiede una pressione minore per essere disteso.

Il cieco è quindi il sito di perforazione più comune in un paziente che soffra di un'ostruzione distale a livello del grosso intestino, se la valvola ileocecale è continente[3].

La valvola ileocecale è composta da due segmenti: un labbro superiore e uno inferiore, più lungo e con la concavità rivolta verso l'alto. Le fibre muscolari longitudinali non subiscono interruzioni tra ileo e cieco, e le due pieghe della valvola sono costituite dalla membrana mucosa e dal tessuto muscolare liscio circolare che compongono la parete intestinale. È stato documentato che alla continenza della valvola contribuiscono altre due inserzioni estrinseche, i legamenti ileocecali superiore e inferiore.

L'appendice vermiforme è un diverticolo intestinale che si estende dalla parete posteromediale del cieco fino alla giunzione ileocecale. Possiede un mesentere corto e triangolare, il meso-appendice.

La posizione è variabile, anche se usualmente è retrocecale. La base dell'appendice, nella maggioranza dei casi, giace profondamente rispetto ad un punto di repere cutaneo, il punto di Mc Burney, che si trova ad un terzo della linea che congiunge la spina iliaca antero-superiore destra all'ombelico.

## **1.2 Il Colon**

Il colon è formato da quattro porzioni che si succedono a formare un arco[4].

Il colon ascendente, di diametro minore rispetto al cieco, decorre verticalmente a destra della cavità addominale fino al lobo destro del fegato, dove forma la flessura epatica portandosi orizzontalmente. Il colon ascendente è retroperitoneale, essendo ricoperto da

peritoneo anteriormente e ai lati. Il grande omento lo separa dalla parete anteriore della cavità addominale mentre lateralmente si trova la doccia parietocolica destra, rivestita da peritoneo parietale.

Il colon trasverso è la porzione più estesa e mobile del grosso intestino. Attraversa la cavità addominale dalla flessura colica destra alla sinistra, la flessura splenica, dove si porta verso il basso a formare il colon discendente.

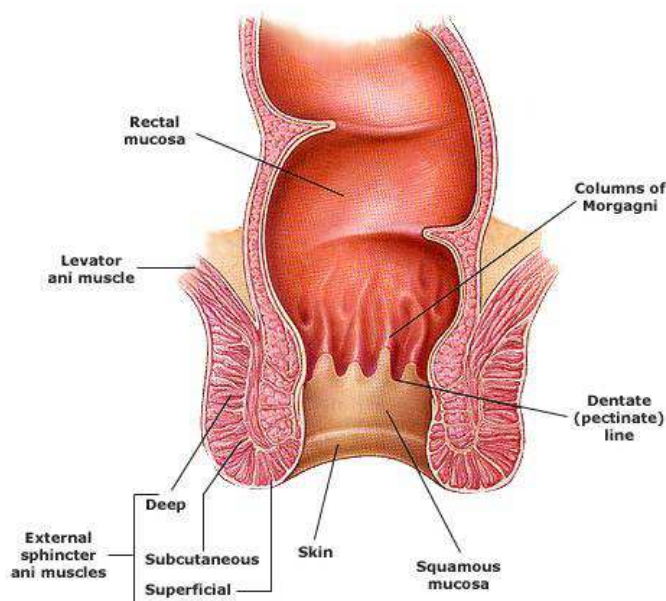
La flessura splenica è più craniale, forma un angolo più acuto ed è meno mobile della flessura epatica. Giace anteriormente al polo inferiore del rene sinistro ed è attaccata al diaframma tramite il legamento freno-colico. Il mesocolon trasverso fa un'ansa tale che la parte centrale del colon trasverso è inferiore rispetto alle creste iliache. La radice del mesocolon trasverso si trova lungo il margine inferiore del pancreas ed è continua con il peritoneo parietale posteriormente.

Il colon discendente decorre, retroperitoneale, dalla flessura splenica alla fossa iliaca sinistra, dove si continua nel colon sigmoideo. Il peritoneo ricopre il colon anteriormente e lateralmente e lo fissa alla parete addominale posteriore. Come a destra, si trova lateralmente al colon discendente la doccia parietocolica sinistra.

Il colon sigmoideo, caratterizzato dalla sua forma a S, collega il colon discendente al retto. Si estende dalla fossa iliaca sinistra al terzo segmento sacrale, dove diventa retto. L'interruzione delle teniae coli indica la giunzione rettosigmoidea. Il sigma ha un mesentere relativamente lungo e, quindi, ha una considerevole libertà di movimento, specialmente nella sua porzione mediana. La radice del mesocolon sigmoideo ha una forma a V rovesciata, che si estende prima medialmente e superiormente lungo i vasi iliaci esterni e quindi medialmente e inferiormente dalla biforcazione dei vasi iliaci comuni alla parete anteriore del sacro.

### 1.3 Il retto e il canale anale

Figura 2 Il retto e il canale anale



Il retto è la parte fissa e terminale del grosso intestino e si continua con il colon sigmoideo a livello della vertebra S3. Il retto segue la curvatura di sacro e coccige, formando la flessura sacrale del retto. Oltre a questa curvatura sul piano sagittale il retto mostra una successione di tre curvature sul piano frontale: le curve superiore e inferiore sono dirette verso destra, la curvatura di mezzo verso sinistra. Sul versante luminale ognuna di queste tre curve possiede una piega trasversale falciforme, costituita da un ispessimento muscolare della parete rettale che aggetta nel lume ricoperto da mucosa. Queste pieghe sono denominate valvole di *Houston*. La valvola di mezzo è la più costante e prominente delle tre e viene regolarmente visualizzata alla sigmoidoscopia.

Il retto termina antero-inferiormente rispetto all'apice del coccige, dove si rivolge postero-inferiormente e diventa canale anale, formando la flessura ano-rettale nel momento in cui attraversa il diaframma pelvico. Lo spazio, attraversato dai visceri pelvici, situato nel pavimento pelvico tra i due muscoli elevatori dell'ano è denominato iato urogenitale.

Il terzo inferiore del retto è dilatato e viene denominato ampolla rettale: contiene le feci prima che vengano espulse durante l'atto della defecazione.

Il peritoneo ricopre la superficie anteriore e laterale del terzo superiore del retto, solo la superficie anteriore del terzo mediano e non ricopre il terzo inferiore, in quanto infraperitoneale. Nei maschi il peritoneo si riflette dal retto sulla parete posteriore della vescica, dove forma il pavimento della tasca retto-vescicale. Nelle femmine il peritoneo

si riflette dal retto sul fornice posteriore della vagina, dove forma il pavimento della tasca retto-uterina. In entrambi i sessi, la riflessione laterale del peritoneo dal terzo superiore del retto forma la fossa pararettale, che permette al retto di distendersi nel momento in cui si riempie di feci.

Il retto giace posteriormente sulle vertebre sacrali inferiori e sul coccige, sul legamento anococcigeo, sui vasi sacrali mediani e sulle terminazioni inferiori del plesso sacrale e del tronco del simpatico.

Nei maschi il retto si rapporta anteriormente con la vescica urinaria, con la parte terminale degli ureteri, con i dotti deferenti, con le ghiandole seminali e con la prostata. Il setto retto-vescicale giace tra il fondo della vescica e l'ampolla rettale ed è strettamente correlato con le ghiandole seminali e con la prostata. Nelle femmine, il retto si rapporta anteriormente con la vagina ed è separato dalla parte posteriore del fornice vaginale e della cervice uterina dalla tasca retto-uterina. Inferiormente alla tasca, il sottile setto retto-vaginale separa la metà superiore della parete posteriore della vagina dal retto.

Il canale anale è il tratto terminale del canale alimentare e giace per intero al di sotto del pavimento pelvico, nella regione chiamata perineo.

Il canale anale negli adulti misura circa 4-5cm di lunghezza e la sua parete anteriore è più corta della posteriore. La sua origine è nello iato urogenitale come diretta continuazione del retto, decorrendo verso il basso e posteriormente. La curvatura che ne deriva a livello della giunzione anorettale (un angolo acuto diretto posteriormente) viene denominata flessura perineale ed è prodotta dal muscolo puborettale, che deriva dai due muscoli elevatori dell'ano[5].

### **1.3.1 Anatomia funzionale: retto e canale anale**

Il canale anale è circondato dagli sfinteri anali interno ed esterno: lo sfintere anale interno è involontario, innervato da fibre parasimpatiche che fanno parte dei nervi splancnici pelvici. Questo sfintere si rilascia in risposta alla pressione (data da feci o gas) che distende l'ampolla rettale [6].

Lo sfintere anale esterno è uno sfintere volontario innervato primariamente da S4 attraverso il nervo rettale inferiore.



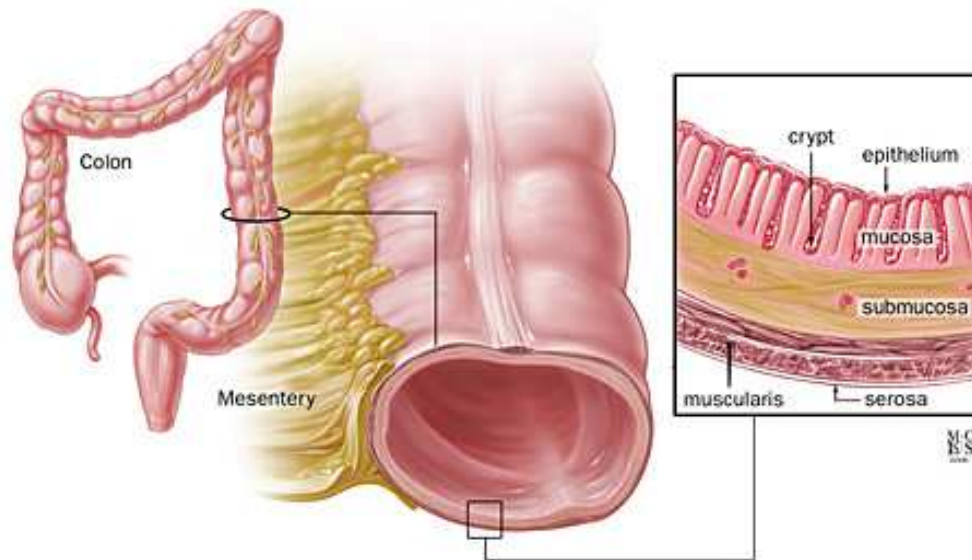
Da un punto di vista funzionale il retto e il canale anale possono essere suddivisi in due parti: un'area di immagazzinamento, il retto, e una di resistenza, gli sfinteri. Insieme sono responsabili della portata e della *compliance*, in maniera che la pressione venga mantenuta bassa. Una pressione alta, dovuta ad un'insufficienza di una delle due componenti o di entrambe, comporta un'incontinenza fecale.

Il muscolo puborettale gioca un ruolo fondamentale nel mantenimento della continenza. Il muscolo tira in avanti il retto creando l'angolo anorettale, che è il responsabile della resistenza all'efflusso. Durante la fase di riposo l'angolo viene mantenuto dal tono del muscolo puborettale, mentre durante i movimenti peristaltici è necessaria un'attiva contrazione muscolare, se non deve avvenire la defecazione. L'incontinenza fecale può essere dovuta ad un angolo patologicamente ottuso.

Durante la defecazione il muscolo si rilascia, la resistenza all'efflusso diminuisce ed è consentita l'evacuazione. Se il muscolo non riesce a rilasciarsi in maniera appropriata la defecazione richiede uno sforzo evacuativo.

## 1.4 Istologia

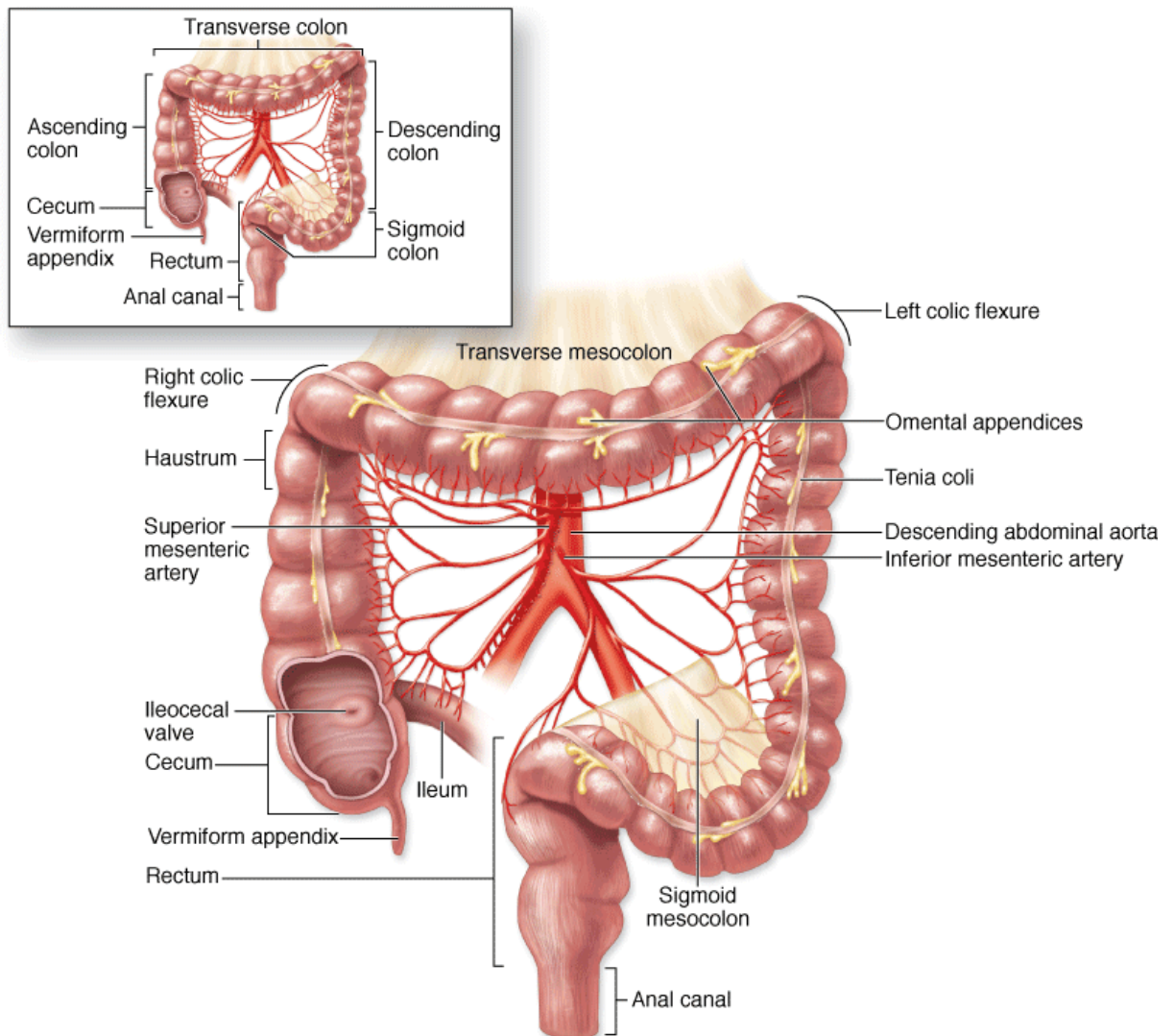
Figura 3 La parete intestinale



La parete del colon ha quattro strati: la mucosa, la sottomucosa, la tonaca muscolare e la sierosa. La tonaca muscolare propria consiste di uno strato interno circolare e di uno strato esterno longitudinale. Il muscolo longitudinale ricopre completamente il colon in uno strato molto sottile e in tre punti lungo la circonferenza si raccoglie in bande spesse chiamate teniae coli. Le *teniae* iniziano alla base dell'appendice e decorrono per tutta la lunghezza dell'intestino crasso, unendosi a livello della giunzione rettosigmoidea in uno strato continuo intorno al retto. Le austrature sono formate dall'accorciamento del colon dovuto alle teniae e alle contrazioni dello strato muscolare circolare. Le austrature non sono strutture anatomiche fisse, infatti si muovono in senso longitudinale. Le appendici epiploiche si trovano sulla superficie sierosa. La parete del colon è così sottile che si distende considerevolmente quando si ha un'ostruzione.

## 1.5 Apporto sanguigno

Figura 4 I vasi colorettali



a Large intestine, anterior view

Source: Mescher AL: *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas, 12th Edition*: <http://www.accessmedicine.com>  
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

L'intestino crasso, dal cieco fino alla flessura splenica, riceve il suo apporto di sangue dall'arteria mesenterica superiore. Oltre questo punto, l'apporto è fornito dalle diramazioni dell'arteria mesenterica inferiore.

L'arteria ileocolica prende origine dall'arteria mesenterica superiore e, oltre a rifornire l'ileo terminale, apporta sangue anche al cieco e al colon ascendente e fornisce anche l'importante ramo appendicolare.

L'arteria colica destra rifornisce il colon ascendente, mentre l'arteria colica media rifornisce il colon trasverso. Dopo l'apporto di sangue è dato dall'arteria mesenterica inferiore: insorge dall'aorta addominale e dà origine alla colica sinistra prima di

diventare arteria emorroidaria superiore. L'arteria colica sinistra rifornisce il colon discendente, mentre le diramazioni sigmoidee apportano sangue al sigma.

Le arterie coliche si biforcano e formano delle arcate a circa 2.5 cm dal margine mesocolico dell'intestino, formando un complesso di vasi comunicanti tra loro denominati arcata marginale di *Drummond*, che è un'arcata anastomotica estremamente efficace.

L'arcata forma quindi un'anastomosi tra l'arteria mesenterica superiore l'arteria mesenterica inferiore. La configurazione dell'apporto di sangue è comunque molto variabile da individuo a individuo e l'organizzazione tipica si riscontra solo nel 15% degli individui. L'arcata di Riolo costituisce un altro circuito anastomotico tra l'arteria mesenterica superiore e l'arteria mesenterica inferiore.

Nei pazienti più anziani con aterosclerosi l'arcata marginale può risultare compromessa: questo può portare ad un'ischemia dopo una resezione intestinale per difetto dell'anastomosi.

I *vasa recta* sono le diramazioni coliche arteriose terminali e decorrono direttamente verso la parete mesocolica o attraverso la parete intestinale verso il margine antimesocolico.

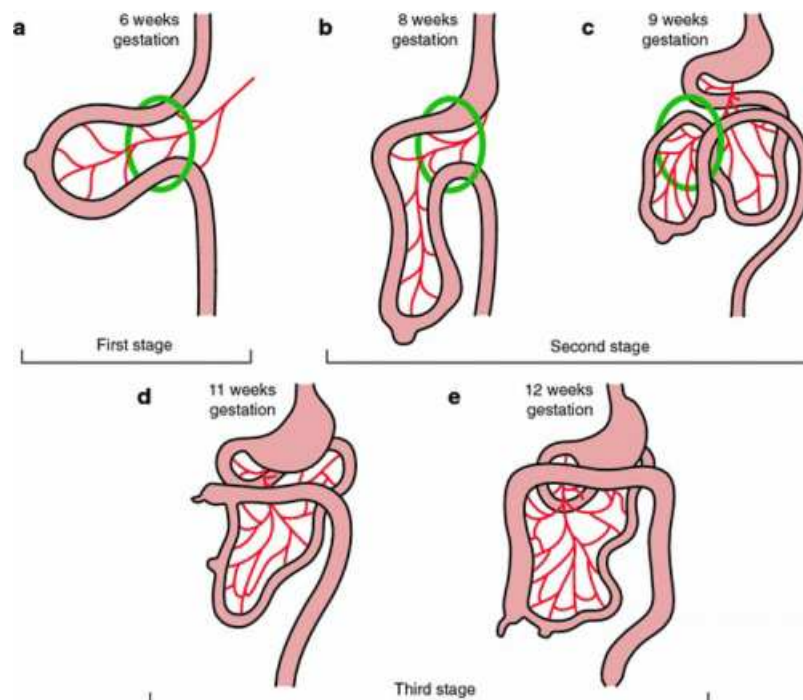
L'arteria emorroidaria mediana insorge da ogni lato dalla divisione anteriore dell'arteria iliaca interna o dall'arteria pudenda interna e decorre verso l'interno a livello del pavimento pelvico. Le arterie emorroidarie inferiori derivano dalle arterie pudende interne e attraversano il canale di *Alcock*. L'anastomosi tra i vasi emorroidari superiori e le diramazioni dell'arteria iliaca interna fornisce un circolo collaterale: questo è importante dopo un'interruzione chirurgica dell'apporto vascolare o dopo un'occlusione aterosclerotica di un vaso di rifornimento del colon sinistro.

Il drenaggio venoso avviene attraverso i vasi che accompagnano le arterie nella loro porzione distale. Solo a livello prossimale si hanno delle diversità, dato che il drenaggio venoso entra nel sistema portale.

I plessi linfatici che si trovano negli strati sottomucoso e sottosieroso della parete intestinale drenano nei canali linfatici e nei linfonodi che accompagnano i vasi sanguigni.

## 1.6 Embriologia dell'intestino crasso

Figura 5 Fasi embrionali



L'intestino primitivo consiste nell'intestino anteriore (che darà origine a esofago, stomaco, pancreas, duodeno, fegato, dotti biliari), nell'intestino medio (da cui origineranno il piccolo intestino distale ai dotti biliari, il cieco, l'appendice, il colon ascendente e la maggior parte del colon trasverso) e l'intestino posteriore (da cui deriveranno il colon trasverso distale, il colon discendente e sigmoideo e il retto).

Per 4 settimane l'intestino medio cresce più rapidamente, rifornito di sangue dall'arteria mesenterica superiore ed è erniato nella parte prossimale del cordone ombelicale. Nel momento in cui rientra in cavità addominale ruota di  $270^\circ$  intorno all'asse formato dall'arteria mesenterica superiore, in senso antiorario. Una malrotazione dell'intestino medio provoca diverse patologie congenite, come il volvolo intestinale [7].

## **2 La curva d'apprendimento: un'introduzione generale**

### **2.1 Definizione**

Una curva d'apprendimento è una rappresentazione grafica del progredire dell'apprendimento (posto sull'asse verticale) in funzione dell'esperienza (posta sull'asse orizzontale). Le curve d'apprendimento pongono il tempo necessario per completare un compito in rapporto con l'allenamento, o con la quantità di informazioni correttamente apprese (concetto riassunto dal termine anglosassone di *practice*).

Una curva d'apprendimento può essere descritta come un miglioramento generalizzato e predicibile nell'eseguire un compito che avviene grazie alla ripetizione dell'esercizio nel tempo. Il miglioramento tende ad essere inizialmente più rapido, diminuendo successivamente fino ad arrivare ad una fase di stabilità nella performance (fase di *plateau*)[8].

### **2.2 L'evoluzione storica della curva d'apprendimento**

Il filosofo tedesco Hermann Ebbinghaus, nel suo lavoro "La memoria. Un contributo alla psicologia sperimentale", ha descritto la curva dell'oblio, che rappresenta la perdita esponenziale delle informazioni apprese[9].

I suoi test consistevano nel memorizzare una serie di sillabe senza senso e nel registrare quante erano state memorizzate dopo un certo numero di esperimenti. La scelta del contenuto da memorizzare era basata sul fatto che questo dovesse essere semplice, omogeneo e di significato neutro: riteneva infatti che questo genere di stimolo riducesse le interferenze, specialmente per quanto riguardava la memoria emotiva.

Con questi metodi Ebbinghaus rilevò che il tempo necessario a memorizzare delle sillabe senza senso aumentava considerevolmente con l'aumentare della quantità di sillabe. Scoprì anche che distribuire gli esercizi mnemonici nel tempo era più efficace che concentrare la pratica in una singola sessione; notò anche che continuare ad esercitarsi anche dopo che lo scopo era stato raggiunto migliorava il mantenimento della memoria.

I suoi risultati portarono alla prima descrizione in assoluto della curva d'apprendimento, nel 1885.

## 2.3 Il modello classico della curva d'apprendimento

Nel 1936 Theodore Paul Wright descrisse l'effetto dell'apprendimento sui costi di produzione nell'industria aerospaziale e propose un modello matematico di curva d'apprendimento. Compresse che se un compito viene reiterato più volte, per ogni ripetizione successiva è richiesto meno tempo. Quantificò questa relazione e determinò che ogni volta che la produzione raddoppiava, il tempo richiesto per il lavoro diminuiva ad un tasso costante, che lui quantificò essere dal 10% al 15%.

Si arrivò quindi al concetto che l'efficienza produttiva di ogni attività aumenta continuamente al ripetersi di tale attività[10].

È il concetto base che, tradotto in modelli matematici, consente di poter prevedere con una ragionevole precisione, se applicato con criterio, la variazione nel tempo di grandezze dipendenti dall'apprendimento (e dal progresso) quali il costo unitario di un prodotto, il tempo necessario per costruirlo, le ore di manutenzione necessarie per unità di volume di produzione.

Modello matematico classico della curva di apprendimento

$$y = a \cdot x^{-b}$$

Dove:

y= misura della produttività (tempo ciclo unitario, costo unitario, peso unitario)

a= parametro legato alla misura della produttività: produttività all'istante iniziale (primo pezzo)

x= volume cumulato di produzione

b= tasso di apprendimento: pendenza della produttività

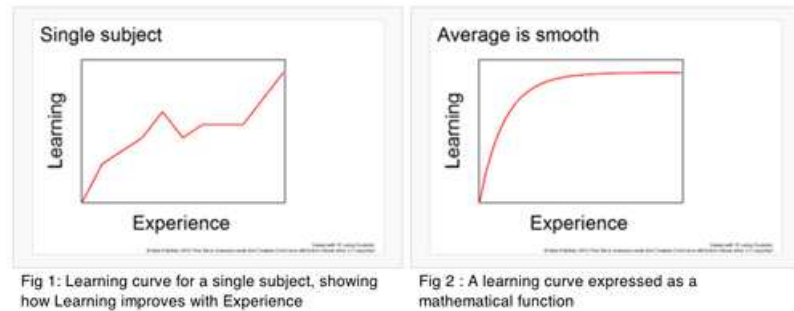
## 2.4 La rappresentazione grafica

- L'asse orizzontale rappresenta l'esperienza, sia direttamente come tempo (tempo effettivo o tempo speso a svolgere l'attività), che in maniera correlata al tempo (numero degli esercizi, numero totale di unità prodotte).
- L'asse verticale rappresenta l'apprendimento o la competenza. Può sia aumentare (per esempio, il punteggio di un test) che diminuire (il tempo necessario a completare un esercizio).

La curva della performance di un singolo individuo che esegue una serie di esercizi può essere variabile, con la competenza che aumenta, diminuisce o arriva ad un plateau.

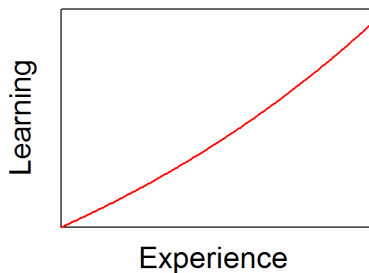
La Figura 6 mostra che, quando si utilizzano dei metodi statistici per attenuare le fluttuazioni a breve termine dei risultati di un grande numero di esercizi, la curva che ne risulta è regolare e può essere descritta con una funzione matematica [11].

**Figura 6** Curva d'apprendimento per un singolo soggetto e per un grande numero di individui



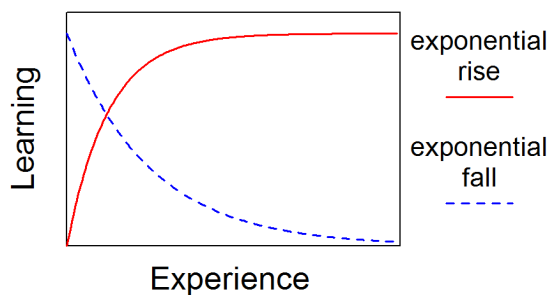
### 2.4.1 Le diverse tipologie di curva d'apprendimento

Exponential growth



Crescita esponenziale: la competenza può crescere senza limiti.

Exponential rise and fall to limit



Crescita (o caduta) esponenziale fino ad un limite: la competenza può crescere in maniera esponenziale fino a tendere ad un limite. Il miglioramento della performance o la capacità di ritenere le informazioni è più rapido negli esercizi iniziali, per poi gradualmente stabilizzarsi. Ciò significa che le capacità dell'individuo non migliorano più sensibilmente con il proseguire degli esercizi, o che meno conoscenze vengono acquisite nel tempo.



S-Curve (Sigmoid)



Curva sigmoidea: in questo caso il miglioramento della competenza sale inizialmente in maniera lenta, poi aumenta rapidamente per poi stabilizzarsi

Power law



Legge di potenza: questa curva è simile ad una curva di decadimento esponenziale ed è quasi sempre utilizzata per una variabile che decresce all'aumentare della capacità, come i costi. È di fondamentale importanza in economia.

## 2.5 Applicazioni pratiche

Industria manifatturiera: le curve d'apprendimento sono considerate strumenti utili per controllare la performance dei lavoratori che debbano eseguire un compito nuovo. Forniscono infatti una rappresentazione matematica del processo d'apprendimento che avviene nel momento in cui si ripete il compito più volte. Sono state utilizzate per stimare il tempo richiesto per completare la produzione e la riduzione dei costi che avviene con l'apprendimento, così come per assegnare agli operai compiti diversificati sulla base delle capacità dimostrate.

Psicologia dell'apprendimento: le curve d'apprendimento sono strumenti fondamentali per i ricercatori che studiano in maniera approfondita il processo dell'imparare, così come per migliorare le tecniche d'insegnamento.

Campo sanitario: le curve d'apprendimento possono essere utilizzate per mettere in rapporto la performance con l'esperienza, quindi per valutare i progressi tecnici compiuti dal personale medico. I professionisti non avvezzi ad una procedura sono detti essere nella fase precoce della loro curva d'apprendimento, con miglioramenti attesi all'aumentare dell'esperienza. La chirurgia è in particolare un campo dove le implicazioni della curva d'apprendimento sono potenzialmente notevoli, data l'introduzione di procedure mini-invasive tecnicamente impegnative.

## **2.6 Curva d'apprendimento in chirurgia**

### **2.6.1 Costruzione della curva d'apprendimento di un chirurgo: la valutazione**

La valutazione dell'apprendimento correlata ad una tecnica chirurgica può essere svolta considerando due diversi aspetti: la valutazione del processo chirurgico e quella degli esiti sul paziente.

#### **I. Variabili del processo chirurgico**

- Tempo operatorio
- Perdita di sangue
- Adeguatezza del margine di resezione per la chirurgia oncologica: interessamento dei margini e appropriatezza della linfadenectomia.

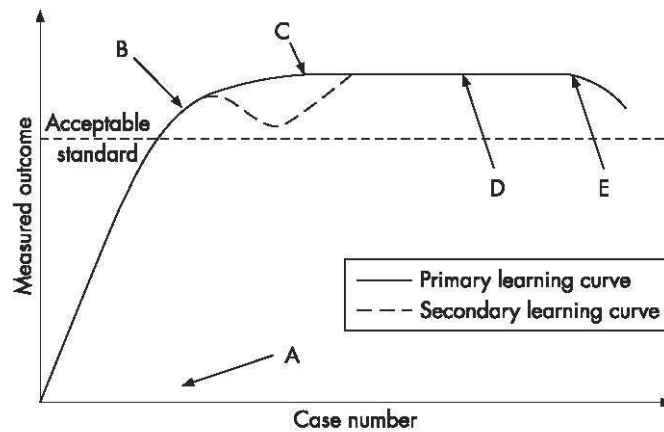
#### **II. Risultati sul paziente**

- Necessità di analgesia
- Necessità di trasfusioni
- Durata del ricovero in terapia intensiva
- Durata del ricovero ospedaliero
- Tasso di morbidità
- Sopravvivenza cumulativa
- Soddisfazione del paziente e qualità della vita

### 2.6.2 Un modello di curva d'apprendimento

La Figura 7 mostra un esempio di curva d'apprendimento applicabile al campo chirurgico[12].

Figura 7 una curva d'apprendimento teorica



A: il punto d'inizio. Rappresenta l'inizio del training, sia di un giovane chirurgo agli inizi della sua carriera che di un chirurgo esperto che impara una tecnica nuova.

A-B: la curva sale. Il gradiente di questa ascesa indica quanto velocemente la performance migliora. Per un singolo individuo questa fase sarebbe più probabilmente rappresentata da una salita a gradini, dato che solitamente la tecnica chirurgica viene imparata per gradi. Il livello di miglioramento raggiunto diminuisce man mano che la tecnica viene perfezionata, infatti la curva è più ripida all'inizio, per poi stabilizzarsi.

B: a questo punto la procedura può essere eseguita in maniera competente e indipendente.

C: l'esperienza ulteriore migliora di poco la performance.

D: viene raggiunto un plateau.

E: con il tempo e l'aumentare dell'età del chirurgo, la vista, la memoria e le capacità cognitive possono deteriorarsi, portando ad una caduta del livello di performance.

La linea tratteggiata rappresenta una curva alternativa, che mostra un deterioramento temporaneo della performance dopo che è stata raggiunta la competenza ottimale. Questo può essere dovuto al fatto che il chirurgo si sobbarchi casi più difficili o ad un eccesso di sicurezza, che provoca delle mancanze nella capacità di giudizio.

### 2.6.3 Identificare la posizione di un chirurgo sulla curva d'apprendimento

Valutando risultati ed esiti specifici è possibile fare una stima della posizione di un professionista sulla curva d'apprendimento, cioè del livello di competenza che ha

raggiunto. Per esempio, per la chirurgia laparoscopica coloretale sarebbe appropriato calcolare il tasso di conversione a procedura open, le complicanze e il tempo operatorio. Il monitoraggio accurato degli esiti consente di stimare a quale punto della curva di apprendimento di una specifica procedura si trova un singolo chirurgo.

Le informazioni basate sulla casistica consentono di comparare diversi professionisti, anche se devono essere considerate le differenze esistenti nei pazienti operati (e la relativa difficoltà della procedura). Inoltre gli specialisti oggi lavorano in un contesto di *team* multidisciplinari: con l'esperienza quindi non migliora solo la performance del singolo individuo ma quella dell'intero team. Discriminare i singoli miglioramenti è difficile e la curva può essere considerata una misura della performance complessiva del team correlata all'esperienza.

#### **2.6.4 Implicazioni per la formazione professionale del medico**

In Italia non ci sono metodi standardizzati per valutare la posizione di un singolo o di un team sulla curva d'apprendimento, né ci sono risorse per l'insegnamento che possano facilitare il raggiungimento di un target di formazione professionale universale. Gli elementi chiave dell'apprendimento sono:

- Definizione inequivocabile di ciò che deve essere appreso
- Metodi di valutazione
- Monitoraggio dei progressi con un feedback adeguato
- Verifica che sia stata raggiunta la fase di autonomia

#### **2.6.5 Utilizzare l'esperienza dell'aviazione per la formazione chirurgica, si può?**

Nel 2006 CR Jackson e KP Gibbin, due autori anglosassoni, hanno considerato il metodo formativo utilizzato in chirurgia prendendo ad esempio l'industria aerospaziale e notandone le possibili somiglianze. Hanno anche cercato in altri stati le applicazioni dei metodi formativi migliori [13]. Si espone qui una visione d'insieme del loro lavoro.

##### **- LA SELEZIONE**

Per ottimizzare la formazione è di fondamentale importanza assicurarsi che vengano selezionati i candidati migliori. La Royal Air Force ha introdotto i test attitudinali per il personale di volo nel 1944. Il processo di selezione per i medici inizia con l'università: in Italia la selezione si basa su un test a risposta multipla. Gli autori sostengono invece che un colloquio strutturato sia più accurato per predire la successiva performance lavorativa.

Nel Regno Unito per lavorare a livello di Foundation Doctors (FY1 e FY2, precedentemente denominati House Officers) è necessario inviare il Curriculum Vitae

insieme ad un questionario compilato e completo di referenze, per poi affrontare un breve colloquio.

In Italia questo livello di formazione coincide con l'inizio della specializzazione dopo la laurea in medicina e chirurgia: il processo di selezione, attualmente, si basa su un test a risposta multipla e su una valutazione della conclusa performance accademica. A questo proposito, gli autori hanno dimostrato che la precedente riuscita accademica e scolastica è un fattore predittivo moderato sulla performance prima della laurea, contribuendo per il 23% della varianza della performance complessiva, ma ha solo un piccolo effetto (6%) sulla competenza post-laurea [14].

La validità di questi metodi di selezione è spesso oggetto di discussione, ma non è ancora stata identificata una valida alternativa. In particolare, i test di destrezza manuale non si sono dimostrati efficaci nel selezionare i chirurghi, anche se la coordinazione spaziale si correla effettivamente con le capacità chirurgiche.

Secondo il Royal College of Surgeons of England, un processo possibile sarebbe costituito da diversi gradi di selezione, includendo corsi pratici con votazione prima di un colloquio finale strutturato.

#### - DEFINIRE LE COMPETENZE

Sia i discenti che i docenti devono comprendere appieno cosa è loro richiesto durante il periodo di formazione. La Royal Air Force definisce le seguenti competenze, molte delle quali sono valide anche per i chirurghi.

- Fiducia e resilienza
- Capacità di comunicazione orale
- Capacità di risolvere i problemi
- Lavoro di squadra

#### - METODICHE FORMATIVE

Una analogia pratica con l'aviazione è l'utilizzo dei simulatori. Questi vengono utilizzati in maniera estensiva nell'aviazione, non solo per il training iniziale dei piloti ma anche nel momento in cui l'equipaggio si deve trasferire su un altro aereo. I vantaggi per la sicurezza sono evidenti: i piloti possono familiarizzare con i macchinari e imparare a gestire le emergenze senza mettere altre vite a rischio.

I simulatori di realtà virtuale possono sia valutare che migliorare le abilità psicomotorie: 10 studi in campo medico hanno mostrato una riduzione del tempo operatorio, un ridotto tasso di errori e un miglioramento nell'economia dei movimenti.

- **CURVE D'APPRENDIMENTO**

Nell'aviazione, l'esperienza dell'equipaggio ha una relazione inversa con il numero degli incidenti, che sono cinque volte più probabili se il personale è più giovane e inesperto. L'importanza delle curve d'apprendimento in chirurgia è altrettanto evidente. Tuttavia, la tolleranza per risultati meno che ottimali durante il periodo di formazione in campo sanitario è bassa: nel 2000 il General Medical Council, in Regno Unito, ha affermato che non ci dovrebbe essere nessuna curva d'apprendimento nel momento in cui è in gioco la sicurezza del paziente. Questa sentenza scaturì dagli alti tassi di mortalità che vennero trovati negli anni '90 al Bristol Paediatric Cardiac Surgical Hospital: tra il 1988 e il 1994 la mortalità in questa unità fu circa il doppio rispetto alla media)[15].

### **3 Curve d'apprendimento in chirurgia laparoscopica coloretale**

Le applicazioni della chirurgia laparoscopica spaziano oggi dalla colecistectomia a procedure più complesse, come le resezioni coloretali.

La chirurgia laparoscopica coloretale è un'opzione sicura, efficace ed economica per il trattamento di varie patologie, benigne e maligne. Tuttavia il suo utilizzo è ancora limitato, principalmente a causa della sua associazione con una lunga curva d'apprendimento.

Procedure laparoscopiche avanzate sono tecnicamente impegnative, in quanto richiedono abilità nell'identificare e disseccare piani tissutali senza i riferimenti tattili tipici della chirurgia open, la capacità di controllare più vasi sanguigni e la necessità di manipolare ed estrarre grossi campioni.

Nelle resezioni coloretali si ha inoltre la necessità di operare in più quadranti addominali e solitamente di ripristinare la continuità intestinale con un'anastomosi.

A causa di ciò, diventare tecnicamente esperto nelle resezioni laparoscopiche coloretali può richiedere un periodo di formazione più lungo con necessità di eseguire procedure più complesse durante il training.

Il passaggio di questa tecnologia dai centri specializzati agli ospedali territoriali richiede delle risorse di sala operatoria specifiche, la disponibilità di formare i chirurghi e il

tempo e la dedizione per acquisire la sicurezza necessaria in queste tecniche altamente impegnative. Ciò è di fondamentale importanza non solo per i chirurghi ma anche per il team operatorio, come infermieri e tecnici.

Definire e costruire una curva d'apprendimento è stato quindi lo scopo di numerosi studi, per cercare di quantificare l'esperienza richiesta per diventare esperti nell'eseguire resezioni laparoscopiche colo-rettali.

### **3.1 Costruire una curva d'apprendimento: l'esperienza di alcuni autori**

Schlachta e Mammazza [16], nel 2001, seguirono il lavoro di tre chirurghi che eseguirono 461 resezioni laparoscopiche colo-rettali consecutive, nell'arco di 8 anni.

Registrarono ed analizzarono i seguenti dati in un database, in maniera da costruire una curva d'apprendimento.

- Dati anagrafici del paziente
- Indicazione alla chirurgia
- Tipo di operazione eseguita
- Tempo operatorio
- Conversione a chirurgia open
- Complicanze intra e post-operatorie
- Durata del ricovero ospedaliero

Per definire una curva d'apprendimento complessiva considerarono l'esperienza di ogni singolo chirurgo, senza includere nello studio la precedente formazione accademica classica, non considerando quindi quello che i chirurghi potevano aver imparato assistendo a procedure eseguite da altri.

Gli autori posero anche attenzione alla selezione dei casi: la proporzione di resezioni coloretali semplici e complesse non variò tra l'inizio e la fine dello studio, in maniera che l'esperienza dell'apprendimento non fosse influenzata dalla complessità dell'operazione eseguita.

Da questo studio conclusero che la curva d'apprendimento per l'esecuzione di resezioni laparoscopiche colo-rettali fosse approssimativamente di 30 operazioni, basandosi sulla riduzione del tempo operatorio, delle complicanze intraoperatorie e del tasso di conversione. L'apprendimento è stato anche esteso al tipo di ricovero post-operatorio,

dato che i pazienti adeguatamente curati potevano essere dimessi più velocemente dopo l'operazione.

Gli autori hanno anche dichiarato che, per i miglioramenti dell'ottica e dell'ergonomia degli strumenti che si sono avuti nel corso dello studio, la curva d'apprendimento reale potrebbe essere inferiore ai 30 casi da loro rilevati nella ricerca.

Nel 2005 Tekkis et al. hanno fornito un'analisi multidimensionale della curva d'apprendimento nella chirurgia laparoscopica maggiore colica e rettale [17]. Hanno condotto uno studio descrittivo basato su un singolo centro, utilizzando dati raccolti dai dati clinici di 900 pazienti sottoposti a chirurgia laparoscopica tra il novembre del 1991 e l'aprile del 2003.

Sapendo che le curve d'apprendimento laparoscopiche variano tra chirurghi e possono essere influenzate dalla selezione dei pazienti e dalla complessità operatoria, gli autori hanno stabilito questi criteri:

- Tempo operatorio
- Tasso di conversione
- Riammissione
- Tassi di complicanze post-operatorie

Hanno anche analizzato statisticamente i fattori correlati ai pazienti, ai chirurghi e al tipo di procedura che erano associati con la conversione a chirurgia open.

Nel dettaglio, hanno identificato i pazienti che si sono sottoposti a chirurgia colo-rettale in emergenza o in elezione con approccio laparoscopico.

Hanno utilizzato un archivio dati che ha fornito una raccolta completa delle caratteristiche demografiche dei pazienti, come la valutazione preoperatoria, il trattamento chirurgico, il decorso postoperatorio, le complicanze intra e postoperatorie, la riammissione entro 30 giorni e la durata del ricovero. I casi furono divisi in due gruppi secondo il tipo di operazione, cioè emicolectomie destre ed emicolectomie sinistre.

A riguardo della curva d'apprendimento, è di fondamentale importanza l'analisi dell'esperienza operatoria, che consiste nel numero di procedure eseguite da ogni singolo chirurgo. In questo studio l'esperienza dei chirurghi fu suddivisa in 8 livelli di crescente esperienza operatoria, con ogni livello consistente in 25 casi, con l'eccezione del gruppo più elevato che aveva un'esperienza di oltre 175 casi.



Come già esposto, il primo passo nella valutazione della curva d'apprendimento di qualunque intervento chirurgico è la selezione di appropriati criteri per la misurazione degli esiti, che agiscono come misura indiretta dell'abilità del chirurgo di eseguire l'operazione in un intervallo di tempo. Le variabili selezionate possono essere distinte in due categorie: 1) processo clinico-chirurgico e efficienza nell'operazione 2) ripercussioni sul paziente. In questo studio il tempo operatorio e la conversione a chirurgia open sono i criteri chirurgici, mentre le complicanze post-operatorie e i tassi di riammissione costituiscono le ripercussioni sul paziente e sono degli indicatori di efficacia clinica.

Gli autori hanno calcolato che la curva d'apprendimento per le emicolectomie destre era di 55 casi, e 62 per le sinistre. Hanno raggiunto la stessa conclusione di Schlachta e altri, dicendo che queste stime possono sembrare alte, ma che ciò è dovuto al fatto che gli studi iniziarono agli inizi degli anni '90, quando la tecnologia e l'efficienza operatoria erano inferiori agli standard di oggi. Hanno anche concluso che è possibile effettuare procedure laparoscopiche più difficili con l'aumentare dell'esperienza senza aumentare la morbidità postoperatoria.

### **3.2 Minimizzare la curva d'apprendimento: è possibile?**

La questione se sia o no possibile ridurre il periodo di apprendimento è stata centrale fin dai primi anni dall'introduzione delle nuove tecniche chirurgiche. Come detto nel paragrafo 2.6.5, nel 2000 il Senate of Surgery ha dichiarato, in risposta all'inchiesta del General Medical Council sugli alti tassi di mortalità al Bristol Paediatric Cardiac Surgical Unit, che non ci dovrebbe essere nessuna curva d'apprendimento se è in gioco la sicurezza del paziente.

Hasan e altri hanno ipotizzato alcuni metodi che potessero consentire ai chirurghi di introdurre una nuova procedura che avrebbe beneficiato i pazienti senza esporli a rischi: un chirurgo poteva invitare un chirurgo più esperto nella sua unità in qualità di supervisore, ma questa ipotesi è stata riconosciuta come scarsamente attuabile nella maggior parte dei casi. Un'alternativa poteva essere quella di incaricare alcuni chirurghi esperti di agire da tutor, viaggiando tra gli ospedali che li richiedessero. Le difficoltà anche in questo caso erano ovvie.

Suggerirono che, come minimo, gli specialisti che intraprendano una nuova procedura dovessero operare insieme ad un chirurgo che fosse già in grado di eseguirla [15].

La riduzione della curva d'apprendimento è sicuramente una sfida sia per i docenti che per i discenti. Le strategie possibili includono il training formale che comprenda corsi in chirurgia laparoscopica coloretale e dissezione cadaverica prima della pratica sul campo operatorio, la supervisione intraoperatoria ravvicinata da parte di professionisti esperti e l'assistenza da parte di uno staff già formato [17].

Pitiakoudis e altri ritengono che un approccio sistematico, strutturato e focalizzato sia la soluzione per ridurre la curva d'apprendimento e raggiungere risultati clinici ottimali [18].

In questo studio gli autori hanno diviso il training per la chirurgia laparoscopica coloretale in un periodo preclinico e uno clinico.

I modelli preclinici più comuni includono il guardare video registrati di operazioni, i modelli animali e cadaverici e i simulatori di realtà virtuale. I modelli preclinici sono ritenuti da alcuni autori metodi efficienti per introdurre i chirurghi alle basi della chirurgia laparoscopica coloretale, senza mettere a rischio i pazienti che sarebbero altrimenti operati da chirurghi in formazione nella fase precoce della loro curva d'apprendimento.

Dopo che il chirurgo ha familiarizzato con gli aspetti cognitivi della nuova procedura e dopo che ha acquisito le capacità psicomotorie necessarie in un contesto controllato e preclinico, deve portare queste capacità nel contesto clinico ed essere coinvolto in un'operazione reale.

Il metodo di formazione più comune a questo livello è quello basato su una figura di tutor. A questo riguardo gli autori pongono l'esempio dello NTP, lo English National Training Programme in chirurgia laparoscopica coloretale: è stato fondato nel 2008 ed è suddiviso in una fase preclinica, con vari corsi come lezioni frontali e dissezioni cadaveriche e in una fase clinica, dove i discenti sono collocati in specifici centri di formazione e eseguono un certo numero di procedure sotto la supervisione di un esperto.

Bisogna specificare che questo programma è stato designato per specialisti già formati: per questo motivo dubitiamo che possa essere il metodo più appropriato per i chirurghi che approcciano per la prima volta la tecnica laparoscopica.

### **3.2.1 L'importanza del team operatorio**

Toledo e altri hanno valutato la curva d'apprendimento, in chirurgia laparoscopica coloretale, di un team chirurgico in un ospedale territoriale e hanno dimostrato che il numero di casi necessari a raggiungere la fase esperta diminuiva quando si aveva il coinvolgimento collettivo del team in ogni procedura [19]. Gli autori hanno determinato che condividere le esperienze con il gruppo portava ad un miglioramento più veloce se comparato a lavorare in maniera singola e indipendente.

In questo studio gli autori hanno valutato 313 casi di chirurgia laparoscopica coloretale consecutivi (105 rettali e 208 colici) che sono stati eseguiti dal gennaio 2005 a dicembre 2012, da almeno il 60% dello stesso team chirurgico (formato da sei membri) in ogni operazione.

Dopo un iniziale periodo in cui la tecnica è stata introdotta dai chirurghi coloretali specializzati, l'intero team è stato coinvolto in ogni procedura, con almeno il 50% dei chirurghi che esegue ogni operazione e lo stesso numero complessivo di procedure, condividendo le esperienze e imparando sotto la supervisione del chirurgo più esperto.

Questo può comportare che il lavoro collettivo del team riduca il numero di pazienti necessari per raggiungere le abilità chirurgiche richieste.

Gli autori hanno proposto che il team chirurgico dovrebbe eseguire in maniera simultanea tutte le operazioni, che tre di loro dovrebbero avere un training precedente in chirurgia laparoscopica avanzata di terzo livello in un centro di formazione accreditato, che dovrebbero acquisire insieme il quarto livello e che dovrebbero dedicarsi solo alla chirurgia coloretale [20].

In questa maniera l'esperienza del chirurgo più anziano si trasmette agli assistenti e l'apprendimento collettivo è più veloce ed efficiente.

### **3.2.2 Nuovi parametri per la curva d'apprendimento**

La maggior parte degli studi disponibili ha valutato le curve d'apprendimento basandosi unicamente sulla procedura e sul numero di complicanze.

Grantcharov, professore di simulazione chirurgica all'Università di Copenhagen, sostiene che questo approccio alla curva d'apprendimento sia soggetto ad un errore significativo [21]: questo è dovuto al fatto che i tassi di complicanze possono essere influenzati non solo dal chirurgo che opera, ma anche da un numero di fattori correlati al paziente, così come dall'efficienza del team coinvolto nell'assistenza.

Per questa ragione, Grantcharov e i suoi colleghi hanno deciso di definire una curva d'apprendimento per le capacità laparoscopiche di base basandosi sull'utilizzo di simulatori di realtà virtuale, invece che analizzare i risultati delle operazioni sui pazienti reali.

Nello studio vennero reclutati 37 specializzandi chirurghi con una limitata esperienza in chirurgia laparoscopica. Questi eseguirono 10 ripetizioni di sei esercizi di base su un simulatore laparoscopico nel corso di un mese.

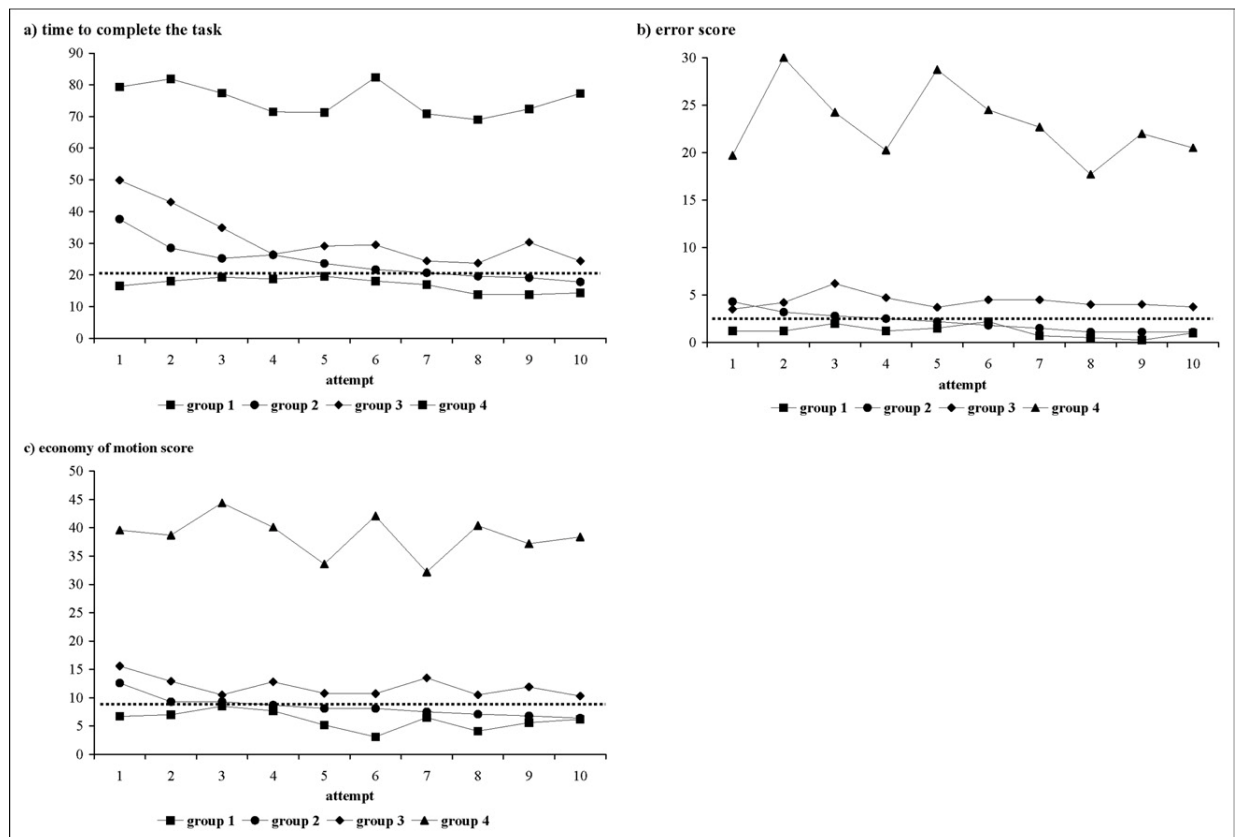
Il simulatore utilizzato è in grado di registrare i seguenti parametri, indicatori di performance:

- Tempo per completare l'esercizio
- Numero di errori
- Economia dei movimenti

Ovviamente la capacità chirurgica non è soddisfatta unicamente dalla capacità di base, ma comprende anche competenze cognitive, tecniche e di comunicazione. A questo riguardo, l'ACGME (Accreditation Council for Graduate Medical Education, l'organizzazione che valuta e certifica la qualità della formazione medica negli Stati Uniti) ha identificato sei competenze fondamentali per gli specializzandi chirurghi: assistenza al paziente, conoscenza medica, apprendimento basato sulla pratica, capacità di comunicazione, professionalità e pratica sistematica [22].

Tuttavia, avere le capacità psicomotorie necessarie ad eseguire una procedura tecnica è di importanza cruciale per gli esiti clinici e differenzia la chirurgia da altre specialità mediche.

Grantcharov e altri hanno identificato 4 tipi di curve d'apprendimento per l'acquisizione di capacità laparoscopiche generiche.



Gli autori hanno così fornito l'evidenza scientifica, per la prima volta, che alcuni specializzandi chirurghi non sono in grado di raggiungere il livello più alto di abilità negli esercizi psicomotori di base rilevanti per la chirurgia laparoscopica.

I risultati dello studio indicano che la maggior parte dei giovani medici che iniziano un programma di formazione chirurgica raggiungerà la fase esperta, con la pratica, in chirurgia laparoscopica. Un piccolo gruppo ha dimostrato abilità innate nella chirurgia minimamente invasiva, rendendo possibile per loro una carriera in questo campo. Come era prevedibile un altro gruppo ha avuto risultati meno incoraggianti e non ha dimostrato di migliorare con la pratica, indicando che questi soggetti non hanno le capacità necessarie per sviluppare le abilità tecniche laparoscopiche.

### 3.2.3 Oltre la curva con la black box per la chirurgia

Se abbiamo lo scopo di minimizzare la curva d'apprendimento e migliorare la performance chirurgica è fondamentale capire dove sta l'errore. Durante una conferenza tenutasi ad un evento TEDx nel 2015, Grantcharov ha spiegato come sia possibile migliorare gli esiti e l'esecuzione chirurgica imparando da altri settori, come l'aviazione

(a questo riguardo vedere anche 2.6.5), con l'introduzione di una "Scatola Nera" nelle sale operatorie [23].

Nel suo discorso, Grantcharov ha introdotto il problema comparando i dati sulla mortalità delle sale operatorie con quelli dell'aviazione.

Il professore afferma che migliaia di pazienti muoiono ogni anno a causa di errori medici e il 50% delle complicanze chirurgiche sono evitabili. Nell'aviazione, per 50000 voli al giorno, ci sono state solo 440 fatalità nel 2011. La sala operatoria è quindi un contesto di alto rischio.

I fattori che sono stati considerati negli studi precedenti per la definizione della curva d'apprendimento sono il tempo operatorio, fattori correlati al paziente o alla tecnologia, ma mai la performance del chirurgo: se un chirurgo non capisce i suoi errori non c'è modo di migliorarsi.

Grantcharov sostiene che, come i registratori di volo in dotazione sui velivoli sono in grado di fornire informazioni sugli eventi che hanno portato ad una eventuale catastrofe, la stessa tecnologia della "scatola nera" per la sala operatoria può servire a capire perché sono avvenuti determinati eventi avversi e come migliorare la sicurezza del paziente in futuro.

Registrare e analizzare dati video e audio della sala operatoria consente di capire i fattori che possono influenzare gli esiti clinici e consente di sviluppare degli interventi educazionali focalizzati, basati su eventi reali e scenari di crisi.

### **3.2.4 La tecnologia della scatola nera**

La scatola nera in sala operatoria registra praticamente tutto quello che succede durante l'operazione. Tiene memoria della diagnostica per immagini intraoperatoria in dotazione al chirurgo e delle registrazioni effettuate da una videocamera montata in sala operatoria. Esegue anche registrazioni video delle interazioni del team chirurgico, registra i dati fisiologici del paziente dal monitor dell'anestesia e registra i livelli acustici in decibel e la temperatura della sala operatoria, così come le potenziali distrazioni, come quante volte viene aperta la porta e quante volte squilla il telefono.

Il team chirurgico può utilizzare questa tecnologia per determinare l'evento che ha portato ad un errore, ma anche riesaminare i passaggi tecnici dell'operazione per capire quali fasi possono essere migliorate.

### **3.2.5 Deliberate practice**

Per far sì che il team chirurgico comprendesse i propri deficit e sviluppasse un training specifico per evitarli in futuro, Grantcharov introduce il concetto della *deliberate practice*, o pratica intenzionale, nella formazione chirurgica.

Il termine è stato coniato dallo psicologo Anders Ericsson e significa fare uno sforzo intenzionale per diventare un esperto in uno specifico campo. Questo sforzo è caratterizzato dal suddividere le abilità richieste in esercizi (o compiti in generale) più piccoli e ripeterli nel tempo. Il discente deve poi integrare l'esercitazione si integra con il ricevere un feedback e con la riflessione sulla performance effettuata [24].

Durante la sua conferenza, Grantcharov ha presentato un esperimento che ha condotto per testare la sua teoria e per capire come si comportavano chirurghi inesperti con i pazienti reali.

Nella sperimentazione alcuni specializzandi chirurghi vennero divisi in due gruppi, e tutti dovevano eseguire una colecistectomia laparoscopica. Dopo questa prima procedura, il primo gruppo ha seguito il percorso classico, mentre l'altro si è sottoposto alla pratica intenzionale. La performance dei chirurghi nel secondo gruppo venne registrata e analizzata, ricevettero un feedback e le loro carenze vennero messe in evidenza. In più, vennero designati degli interventi formativi specifici per minimizzare i deficit.

Entrambi i gruppi ripeterono poi la colecistectomia laparoscopica. Mentre per la prima procedura non ci furono differenze importanti nei risultati, nella seconda i chirurghi che avevano seguito la pratica intenzionale migliorarono in maniera considerevole.

Grantcharov sostiene quindi che con questo approccio sia possibile non solo minimizzare ma eliminare la curva d'apprendimento dalla sala operatoria.

## 4 Finalità della tesi

Questa tesi si propone di esaminare l'utilizzo della curva d'apprendimento come strumento formativo e di valutazione nella chirurgia laparoscopica coloretale. Sono state considerate le operazioni di emicolectomia sinistra e sigmoidectomia in un'unità chirurgica ad alto volume, utilizzando come criteri il tempo operatorio e il tasso di conversione a chirurgia aperta, volendo delineare il quadro generale dell'attività del reparto, e proponendo uno strumento didattico utile al *training* chirurgico.

## 5 Pazienti e metodi

La selezione dei pazienti è stata eseguita utilizzando come fonte di dati il programma Argos, *software* per la gestione integrata dei dati clinici. Le informazioni rilevanti sono state poi inserite in un *database* creato *ad hoc* con il programma per la gestione dei fogli elettronici Microsoft Excel.

### 5.1 Selezione dei pazienti

Abbiamo raccolto in maniera retrospettiva i dati di tutti i pazienti ammessi consecutivamente da gennaio 2010 a dicembre 2014 per chirurgia elettiva del colon sinistro, nell'Unità Operativa di Chirurgia generale coloretale dell'Azienda Ospedaliera Universitaria pisana, diretta dal Prof. Piero Bucciante.

La selezione è stata eseguita utilizzando come criteri di inclusione il tipo di procedura chirurgica e la diagnosi di ammissione: sono stati compresi nello studio tutti i pazienti sottoposti a emicolectomia sinistra e sigmoidectomia con approccio laparoscopico, la cui diagnosi di ricovero non fosse una malattia infiammatoria cronica intestinale, includendo quindi sia la malignità che la diverticolosi del colon.

### 5.2 Raccolta dei dati

I dati raccolti e inseriti nel database sono stati così raggruppati:

- Caratteristiche demografiche del paziente
  - Nome e cognome
  - Sesso
  - Età
- Dati anamnestici
  - Indice anestesilogico ASA (American Society of Anesthesiologists)



- Indice di massa corporea (BMI)
- Abitudine al fumo
- Presenza di diabete
- Patologie cardiache preesistenti e comorbidità
- Assunzione di terapie farmacologiche
- Anamnesi familiare per patologie coloretali
- Precedenti interventi chirurgici
- Esami di diagnostica per immagini
- Risultati della biopsia
- Valutazione del Gruppo Oncologico Multidisciplinare GOM
- Durata del ricovero
- Intervento chirurgico
  - Tipo di procedura
  - Data della procedura
  - Eventuale conversione a chirurgia aperta e causa
  - Localizzazione della ferita chirurgica
  - Tipo di anastomosi
  - Eventuale confezionamento di stomia
  - Tempo operatorio
  - Nome e cognome di primo, secondo e terzo operatore
- Riguardanti il decorso post-operatorio
  - Eventuali complicanze entro 30 giorni
  - Eventuali reinterventi nel post-operatorio
  - Eventuali complicanze dopo la dimissione ed eventuale riammissione

### 5.3 Database

Fondamentale per lo sviluppo del nostro lavoro è stata la raccolta dei dati. Abbiamo utilizzato un database realizzato *ad hoc* da chirurghi e medici, composto da 134 voci, che descrivono e riassumono la storia clinica del paziente, le procedure diagnostiche e terapeutiche e gli *outcome* dell'intervento.

**Figura 8 Il database per la raccolta dei dati**

Il database è suddiviso in aree di interesse, riportate di seguito:

**Figura 9 Macroaree del database di raccolta dati**

	Dati anagrafici e anamnestici su anamnesi fisiologica e patologica
	Dati riguardanti l'intervento chirurgico
	Dati riguardanti l'eventuale chemioterapia
	Diagnostica per immagini ed eventuale staging
	Informazioni relative alla durata dell'ospedalizzazione
	Morbilità peri e post-operatoria e riammissioni
	Istologia
	Equipe chirurgica

Il database consente di raccogliere grandi volumi di dati in maniera semplice, permettendo la successiva analisi a fini clinici e di ricerca.

Alla luce della facilità del suo utilizzo e dell'utilità di avere grandi quantità di dati clinici ordinate, proponiamo lo sfruttamento del database in maniera prospettica, tramite lo sviluppo di un *software* o l'integrazione in un programma di raccolta dati già esistente (come *Argos*).

## 5.4 L'esperienza degli operatori

Nell'arco di tempo dei cinque anni inclusi nello studio, abbiamo considerato l'esperienza dei quattro chirurghi che hanno eseguito il maggior numero di interventi coloretali di emicolectomia sinistra e sigmoidectomia, in maniera da valutare la loro posizione sulla curva d'apprendimento e le criticità che possono presentarsi nell'utilizzo di questo metodo nella pratica clinica.

Il chirurgo A ha eseguito 70 interventi come primo operatore, il chirurgo B ne ha eseguiti 29, il chirurgo C 21 e il chirurgo D 17.

## 5.5 La tecnica operatoria-Emicolectomia sinistra

La procedura inizia con l'induzione dello pneumoperitoneo con ago di Veress, introdotto in sede ombelicale, alla pressione di 14 mmHg.

Si procede alla pianificazione del posizionamento dei *trocar*, che viene fatta sempre ad addome insufflato, per non perdere i punti di repere.

Il *trocar* n. 1 è il *trocar* ottico, che viene posizionato in sede sovraombelicale. Il chirurgo che opera come secondo aiuto è responsabile dell'ottica. Il *trocar* n. 2 si posiziona in fossa iliaca destra, lateralmente o medialmente ai vasi epigastrici inferiori. Il posizionamento di questo *trocar* sarà tanto più caudale quanto più il retto sarà coinvolto nell'operazione. Del *trocar* n. 2 si occupa il primo aiuto chirurgo.

Il *trocar* n. 3 si trova sul punto di incrocio della retta verticale passante per il *trocar* n. 2 con la retta orizzontale passante per il *trocar* n.1.

Si posiziona poi il *trocar* n. 4, controlaterale al n. 3. I *trocar* 3 e 4 sono manovrati dal primo operatore. Nel *trocar* n. 4 viene posizionato lo strumento di dissezione.

Nella prima fase dell'operazione il paziente si trova in posizione di Trendelenburg inversa, con un'inclinazione di 10-15° e ruotato verso destra di 10°. Per evitare lesioni, le gambe del paziente sono divaricate e si utilizza un dispositivo di protezione per la spalla di appoggio.

La procedura comincia nello spazio sovramesocolico. Si esplora la cavità addominale alla ricerca di lesioni ripetitive a carico del fegato, di segni di carcinosi peritoneale o liquido libero in cavità addominale.

In questa fase il chirurgo in posizione 2 trazona il colon trasverso inferiormente.

Si accede alla retrocavità degli epiploon sezionando, fino al versante più sinistro della flessura splenica, il legamento colo-epiploico, in maniera da mobilizzare in maniera progressiva la flessura colica di sinistra.

In questa fase è importante non procurare lesioni termiche al colon.

Una volta che la retrocavità è libera si visualizza, anche in base all'anatomia della flessura sinistra, il bordo inferiore del pancreas e si procede alla sezione del mesocolon trasverso, fino a sinistra.

La dissezione dà rapidamente la possibilità di esporre la fascia renale di Gerota: a questo punto si opera una trazione verso il basso e verso destra per staccare la flessura e il mesocolon dalla fascia renale.

Si può avere difficoltà se l'omento è adeso alla flessura e fascia il colon, non permettendo la visione del viscere, oppure se flessura e colon discendente sono adesi a canna di fucile, rendendo difficile la sua linearizzazione.

L'obiettivo, dopo la mobilizzazione, è sganciare la flessura splenica dalla coda del pancreas, dalla milza, dalla parete addominale e dalla fascia di Gerota e linearizzare il colon in maniera che non sia in tensione, per poter confezionare agevolmente l'anastomosi. La dissezione si spinge dalla fascia di Gerota quanto più caudalmente possibile.

Si utilizza una strategia flessibile: si può accedere lateralmente procedendo subito allo scollamento colo-parietale, oppure si può accedere inferiormente.

In questa fase il rischio può essere una lesione splenica da scapsulamento, dovuta ad una trazione per un'aderenza non trattata. Se si verifica questa eventualità, gli agenti emostatici moderni rendono rara la necessità di una splenectomia da sanguinamento.

Più raramente si possono avere lesioni spleniche da traumi diretti.

Un'altra possibile lesione è alla capsula pancreatica.

A questo punto cambia la posizione degli operatori: il primo operatore si porta in posizione 2, mentre il primo aiuto chirurgo si porta in posizione 4 e solleva il colon trasverso, per avere accesso al legamento di Treitz e alla vena mesenterica inferiore in posizione sottomesocolica.

Il legamento di Treitz viene liberato dalle aderenze prestando attenzione a non lesionare la sierosa. La vena mesenterica inferiore è visibile in trasparenza e viene sollevata. Si incide il peritoneo posteriore inferiormente alla vena, per trovare il piano di dissezione tra il mesocolon e la fascia di Gerota, difficilmente visualizzabile.

Questo piano di dissezione viene ricongiunto con il piano di dissezione laterale, ma la vena non viene sezionata in questa fase.

A questo punto viene cambiata la posizione del paziente: viene mantenuta la rotazione verso destra ma si passa ad una posizione di Trendelenburg inclinata di 15-20°, in maniera che le anse intestinali si spostino verso destra e si abbia la pelvi libera, con la biforcazione aortica visualizzabile.

Il chirurgo in posizione 4 trazione il mesosigma a livello del promontorio sacrale. Si prosegue con l'incisione del peritoneo prendendo come punto di repere l'arteria iliaca destra, fino al ricongiungimento con il piano di dissezione della vena mesenterica inferiore.

È importante valutare la posizione dei plessi nervosi autonomici: si solleva il mesosigma osservando la parete ventrale dell'arteria mesenterica inferiore, così da avere la sicurezza che i plessi nervosi si trovino al di sotto.

Su questo piano si osservano anche l'uretere e i vasi gonadici.

Viene preparata l'arteria mesenterica inferiore e sezionata tra clip. A questo punto si sollevano ad "ala di gabbiano" sia la vena che l'arteria mesenteriche inferiori, e si allarga la dissezione sia lateralmente che inferiormente, prestando attenzione a non lesionare il nervo ipogastrico.

Si passa a scollare le aderenze laterali del sigma a livello della doccia parieto-colica. Il piano di sezione viene congiunto con il precedente in maniera che il colon discendente sia completamente rettilineo.

Il viscere viene messo in trazione dal secondo aiuto chirurgo in senso craniale e si prosegue lo scollamento tra la fascia mesorettale e la presacrale, fino ad arrivare al punto dove terminano le *teniae* del sigma.

A questo punto si passa alla sezione del mesoretto, in maniera da preparare il retto in maniera corretta. Il retto viene suturato con suturatrice meccanica articolata.

La vena mesenterica inferiore viene sezionata su clip. Si passa quindi alla sezione dell'arteria colica sinistra e alla preparazione del mesocolon, l'ultima struttura che tiene in tensione il viscere.

Si procede con la desufflazione e si opera un'incisione addominale di servizio sovrapubica secondo Pfannenstiel. Il pezzo operatorio viene estratto previo posizionamento di un dispositivo di protezione di parete.

Si esegue la resezione coloretale .

Non è usualmente previsto il confezionamento di un'ileostomia di protezione dell'anastomosi.

A questo punto l'incisione di servizio viene richiusa e viene reindotto lo pneumoperitoneo. La continuità intestinale viene ricostituita mediante un'anastomosi coloretale termino-terminale, con suturatrice meccanica transanale CDH 29, previa verifica del corretto posizionamento del meso.

Vengono controllate le trancie di resezione.

Si verifica la tenuta dell'anastomosi con la prova idro-pneumatica. Si posiziona un drenaggio 18F nella pelvi e si procede alla desufflazione.

La cute e il sottocute vengono suturati e si conclude con la medicazione.

## 5.6 Analisi dei dati

I dati demografici sono stati elaborati utilizzando la statistica descrittiva.

La curva d'apprendimento è stata elaborata utilizzando la tecnica della somma cumulativa CUSUM (*CUmulative SUM*) e la tecnica della media mobile, utilizzando come criteri il tempo operatorio e il tasso di conversione a chirurgia aperta.

### 5.6.1 La somma cumulativa CUSUM

La curva CUSUM è un metodo grafico ampiamente utilizzato per il monitoraggio della qualità nell'ambiente della produzione industriale.

La curva CUSUM rappresenta la performance di un individuo o di un team sotto forma di grafico a due dimensioni, dove sull'asse delle x viene posta la serie di procedure e sull'asse delle y il punteggio CUSUM.

I criteri presi in considerazione sono stati il tempo operatorio e il tasso di conversione a chirurgia aperta, utilizzando due diverse formule del punteggio CUSUM.

### 5.6.2 CUSUM per il tempo operatorio

Per quanto riguarda il calcolo della somma cumulativa per il tempo operatorio abbiamo considerato la seguente formula matematica:

$$CUSUM_{tempo\ operatorio} = \sum (x_i - \mu)$$

Ovvero la somma cumulativa della differenza tra  $x_i$ , che è la misurazione del tempo operatorio per una singola procedura e  $\mu$ , che è la media dei tempi operatori di tutte le procedure in esame.

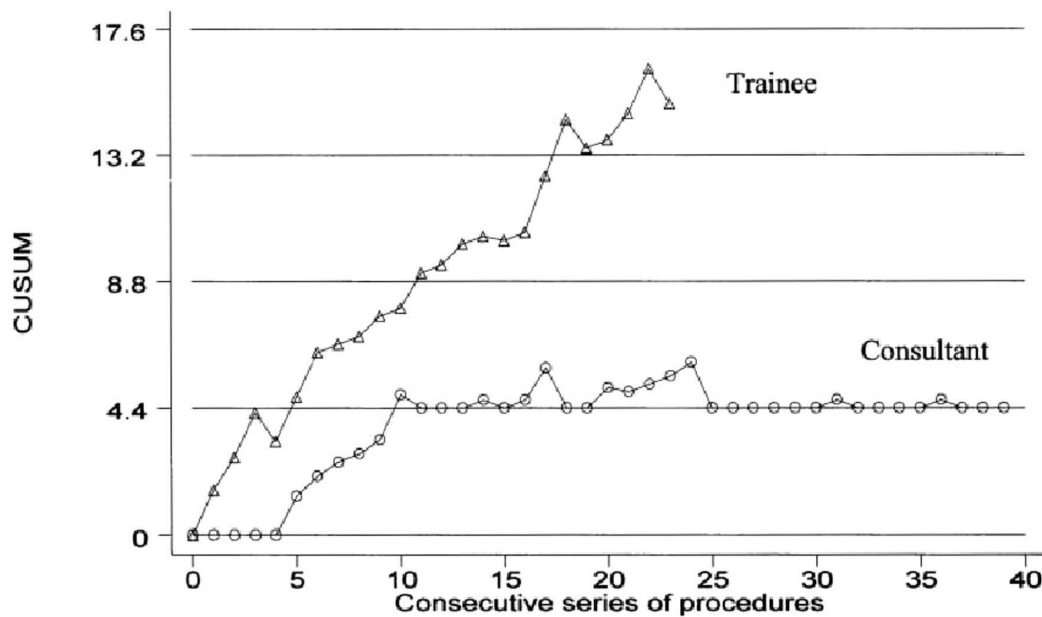
I tempi operatori delle procedure sono stati innanzitutto disposti in ordine cronologico, dal più vecchio al più recente. Il punteggio CUSUM del tempo operatorio per il primo paziente viene quindi calcolato semplicemente come differenza tra il tempo operatorio corrispondente e la media.

Il punteggio CUSUM del secondo paziente viene a sua volta calcolato come differenza tra il tempo operatorio e la media, e poi addizionato al punteggio CUSUM del caso precedente. Questo procedimento viene ripetuto quindi per tutti i pazienti selezionati.[25]

La curva CUSUM è stata innanzitutto calcolata per ogni singolo chirurgo che ha eseguito la procedura in qualità di primo operatore. La curva è stata inoltre costruita anche per le coppie di chirurghi che hanno operato insieme come primo e secondo operatore, per valutare l'utilità della curva anche nel caso del *team* operatorio.

Per leggere il grafico CUSUM del tempo operatorio dobbiamo considerare l'andamento della curva. Se questo mantiene lo stesso valore, la differenza tra il tempo operatorio e il tempo considerato come riferimento rimane uguale. Il cambiamento della performance chirurgica, quindi, viene visualizzato sulla curva come un cambiamento di inclinazione della stessa.

Consideriamo la seguente curva CUSUM tratta dalla letteratura [26] come esempio.



In questo grafico sono messe a confronto le prestazioni di un chirurgo esperto (*consultant*) con quelle di un chirurgo alle prime armi (*trainee*). La curva del *consultant* ha un coefficiente angolare positivo e costante per le prime 10 operazioni, il che indica che il chirurgo ha impiegato sempre lo stesso tempo in più per eseguire l'operazione rispetto al riferimento considerato. Dalla decima operazione in poi il coefficiente angolare cambia e si approssima allo zero: ciò indica che il tempo impiegato è diminuito fino a mantenersi uguale al riferimento.

La curva del *trainee* invece ha un coefficiente positivo senza variazioni di rilievo: i tempi operatori rimangono quindi costantemente maggiori del tempo di riferimento, che l'allievo non raggiunge nelle operazioni esaminate.

### 5.6.3 CUSUM per il tasso di conversione

La curva CUSUM è stata calcolata anche per quanto riguarda il tasso di conversione a chirurgia aperta. In questo caso si è considerata la formula della somma cumulativa per variabili dicotomiche, riportata di seguito:

$$CUSUM_{conversione} = \sum (x_i - x_0)$$

Dove poniamo  $x_i=1$  se c'è stata conversione e  $x_i=0$  se non c'è stata conversione. A questo valore si sottrae  $x_0$ , che è il tasso di conversione accettato come normale nel reparto, che in questo caso è stato posto al 10%, ossia 0.1, valore rilevato dalla letteratura [27]. Possiamo considerare  $x_0$  come il tasso di “fallimento” insito in qualunque procedura chirurgica.

Come abbiamo esposto nel paragrafo precedente, anche in questo caso la lettura della curva si basa sull'osservazione della derivata della curva: quando è positiva si ha conversione, quando è negativa non si ha conversione.

#### 5.6.4 La media mobile

La media mobile è una tecnica che consente di analizzare i dati calcolando una serie di medie di sottoinsiemi consecutivi della serie di dati completa [28].

Viene utilizzata nel caso in cui si abbia una serie di dati ordinata nel tempo per diminuire le fluttuazioni a breve termine ed evidenziare il *trend* a lungo termine che segue la curva.

In questo lavoro abbiamo applicato il metodo della media mobile, come per la somma cumulativa, al tempo operatorio, sia singolarmente per i primi operatori, che per le coppie formate da primo e secondo operatore.

La formula utilizzata è la seguente:

$$MEDIA\ MOBILE_i = \left( \sum_{j=0}^{N-1} (TO_{i+j}) \right) / N$$

Abbiamo utilizzato la media mobile lineare. TO è il tempo operatorio, mentre N è il periodo della media. La media mobile lineare è la media aritmetica dei precedenti "N" tempi operatori. Il termine "mobile" deriva dal fatto che la media si "sposta in avanti", considerando sempre gli N tempi operatori precedenti e non tutti i valori. Il periodo della media è stato scelto sulla base del numero dei casi esaminati.

Da evidenziare il fatto che nel calcolo della media mobile non si prende un tempo come riferimento, come invece viene fatto per la somma cumulativa. La curva che ne deriva quindi consente di visualizzare in maniera immediata le variazioni della media dei tempi operatori del chirurgo, ma non fa confronti con la media dell'unità operativa.



## 6 Risultati

L'unità operativa in esame, nel periodo tra il 2010 e il 2014, ha effettuato operazioni di emicolectomia sinistra e sigmoidectomia su 150 pazienti, le cui caratteristiche demografiche sono riassunte nella Tabella 1:

**Tabella 1.-Caratteristiche demografiche dei pazienti.**

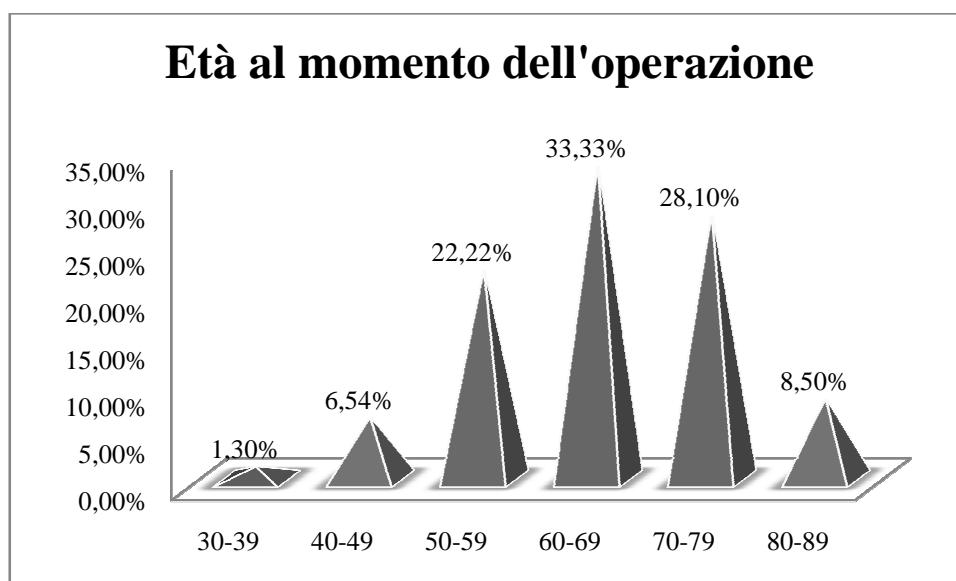
		PERCENTUALE	MEDIA±DS	RANGE	MEDIANA
<b>Età</b>			65±11	37-90	66
<b>Maschio</b>		60,10%			
<b>Femmina</b>		39,90%			
<b>BMI</b>			26,35±4,36	17,92-46,61	26,03
<b>ASA</b>	1	3,97%			
	2	70,20%			
	3	25,17%			
	4	0,66%			
<b>Abitudine al fumo</b>	Sì	19,59%			
	No	80,41%			
<b>Diabete</b>	Sì	15,54%			
	No	84,46%			

DS: Deviazione Standard; ASA: American Society of Anesthesiologists, indice dello stato fisico; BMI: Body Mass Index

I pazienti sono per il 60% maschi.

Come viene rappresentato nella Figura 10, l'età al momento dell'operazione è nel 33% dei casi tra i 60 e i 69 anni, per il 28% tra 70 e 79 e per il 22% tra 40 e 49 anni. Le altre fasce d'età sono meno rappresentate, con il paziente più giovane che è stato operato all'età di 37 anni e il più anziano all'età di 90 anni.

**Figura 10-Fasce d'età dei pazienti operati tra il 2010 e il 2014**



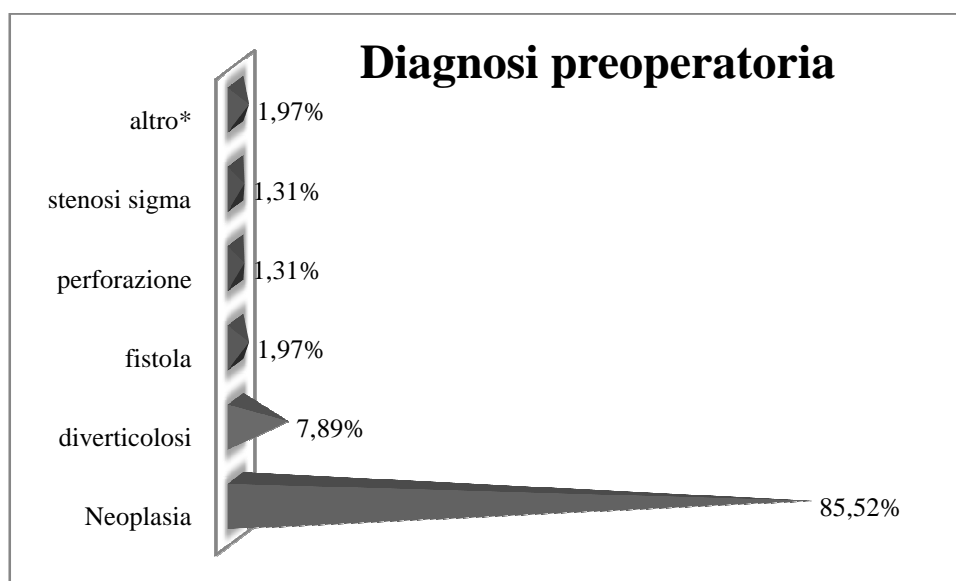
La diagnosi che ha portato i pazienti all'attenzione chirurgica e successivamente all'intervento resettivo è stata nell'85% dei casi una neoplasia. La malattia diverticolare è stata la causa del ricovero in circa l'8% dei casi, mentre le altre manifestazioni hanno avuto una prevalenza minore: la presenza di fistole, perforazioni, stenosi del sigma, volvolo, ascesso addominale e pseudotumore infiammatorio ammontano al 6% complessivamente.

**Tabella 2. Diagnosi preoperatoria dei pazienti selezionati**

DIAGNOSI PREOPERATORIA	PERCENTUALE
NEOPLASIA	85,52%
DIVERTICOLOSI	7,89%
FISTOLA	1,97%
PERFORAZIONE	1,31%
STENOSI SIGMA	1,31%
ALTRO*	1,97%
* Ascesso addominale, volvolo, pseudotumore infiammatorio	

È quindi evidente come la patologia neoplastica abbia una prevalenza rispetto alle altre patologie come causa dell'intervento di resezione colica:

**Figura 11-Prevalenza della patologia neoplastica nel campione di pazienti selezionati**



Di interesse clinico sono anche le complicanze che sono seguite all'intervento. Nella raccolta dei dati le abbiamo riscontrate in 23 casi, ossia nel 15% degli interventi selezionati. Alcune complicanze si sono verificate contemporaneamente nello stesso paziente. Le abbiamo raggruppate come in Tabella 3:

**Tabella 3 Complicanze del post-operatorio nei pazienti selezionati**

COMPLICANZE	CARATTERISTICHE	NUMERO PAZIENTI	PERCENTUALE
URINARIE	Ritenzione urinaria acuta	2	7,4%
DI PARETE	Laparocoele	3	11,1%
DEL SITO CHIRURGICO	Deiscenza anastomosi colo-rettale	4	59,3%
	Emoperitoneo	4	
	Occlusione intestinale	3	
	Ritardo di canalizzazione	3	
	Ematoma retroperitoneale	1	
	Pneumoperitoneo	1	
ALTRE	Melena	2	22,2%
	Febbre	2	
	Fibrillazione	1	
	Ristagno gastrico	1	

Il 59% delle complicanze riscontrate (16 pazienti, circa l'11% del totale) consiste in una complicanza del sito chirurgico, di cui le più frequenti sono la deiscenza dell'anastomosi coloretale e l'emoperitoneo, entrambi riscontrati in 4 casi, mentre l'occlusione intestinale e il ritardo di canalizzazione ammontano a 3 casi ciascuno. In due casi soltanto si sono riscontrati un ematoma retroperitoneale e uno pneumoperitoneo. Il laparocoele, complicanza della parete addominale, si è riscontrato in circa il 10% dei casi (3 pazienti, il 2% del totale). In due casi si è avuta la presenza di febbre nel post-operatorio, in due casi si sono verificati episodi di melena e soltanto in un caso ciascuno si è avuto ristagno gastrico, fibrillazione tachifrequente e ritenzione urinaria acuta.

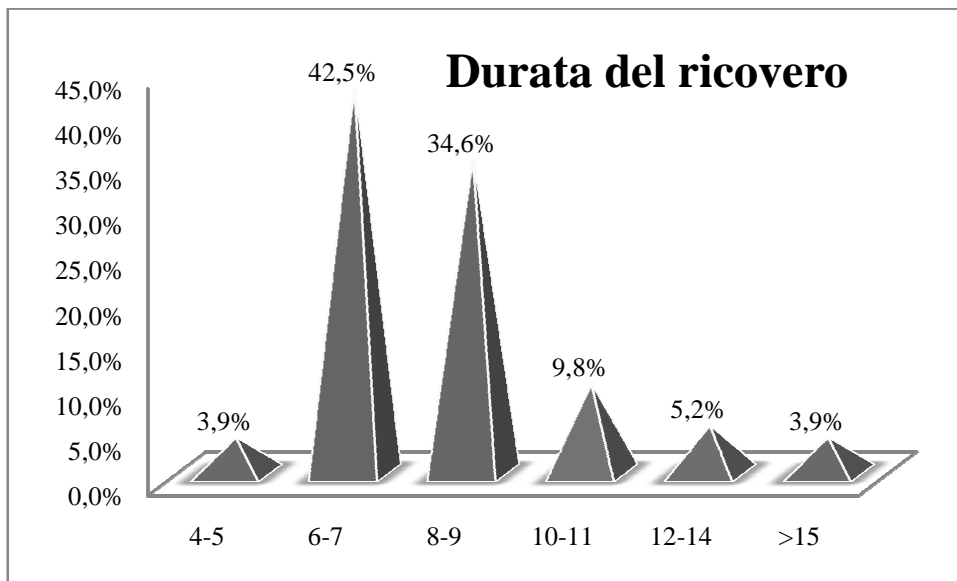
La durata del ricovero è stata calcolata dal giorno in cui il paziente è stato ospedalizzato al giorno della dimissione, e la mediana risulta essere di 8 giorni (Tabella 4). Il minimo è stato di 4 giorni e il massimo di 56, verificatosi in un caso soltanto, dove nel post-operatorio si è avuto ristagno gastrico e la necessità di un intervento di anastomosi duodeno-digiunale.

**Tabella 4-Durata del ricovero nella selezione dei pazienti**

	<b>MEDIA±DS</b>	<b>RANGE</b>	<b>MEDIANA</b>
<b>DURATA RICOVERO</b>	8,69±4,92	4-56	8

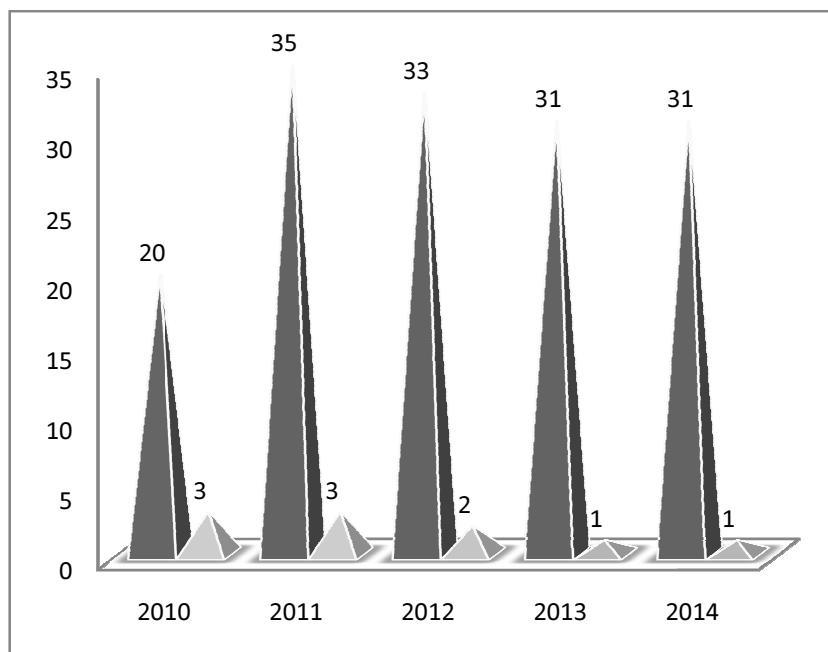
Valutando la durata del ricovero per fasce, come si è fatto in Figura 12, si nota che quasi l'80% dei pazienti resta ricoverato per un periodo che va dai 6 ai 9 giorni, con il 42% che si attesta tra i sei e i sette giorni.

**Figura 12-Durata del ricovero in giorni**



Nella raccolta dei dati abbiamo rilevato le procedure che hanno avuto un approccio laparoscopico e che sono state convertite a chirurgia aperta nel corso dell'intervento. Abbiamo riscontrato questa eventualità in solo 10 casi sul totale delle 150 procedure nei cinque anni (meno del 7% dei casi hanno subito la conversione). Riportiamo nella Figura 13 i dati sugli interventi convertiti anno per anno.

**Figura 13-Confronto tra interventi totali e interventi convertiti a chirurgia aperta per anno**



Abbiamo inoltre raggruppato le cause della conversione in Tabella 5.

**Tabella 5-Cause della conversione a chirurgia aperta nelle procedure selezionate**

CAUSE CONVERSIONE	DETTAGLI	NUMERO CASI
Difficoltà anatomiche	Distensione viscere non consente manovre laparoscopiche	3 casi
Ostacoli tecnici	Aderenze con parete addominale	2 casi
Eventi intraoperatori inattesi	Sanguinamento non gestibile laparoscopicamente	4 casi
	Impossibilità mantenere ventilazione e progressivo aggravarsi acidosi respiratoria	
	Ascesso retto-vescicale con soluzione di continuo vescica	
	Ematoma retroperitoneale (esclusione sanguinamento in atto)	
Non specificato		1 caso

La conversione si è rivelata necessaria in tre casi su dieci per la presenza di una distensione del viscere che non consentiva manovre laparoscopiche. In due pazienti su dieci l'ostacolo sono state le aderenze con la parete addominale: in entrambi i casi i pazienti avevano subito precedentemente degli interventi chirurgici addominali che potevano spiegare la presenza delle aderenze. In un caso il paziente aveva subito una sigmoidectomia, nell'altro caso la paziente aveva subito interventi per una gravidanza extrauterina e per una cisti ovarica. In quattro casi su dieci il problema sono stati eventi intraoperatori inattesi: un sanguinamento in atto, una impossibilità nel mantenere lo pneumoperitoneo per la comparsa di acidosi respiratoria, la presenza di un ascesso retto-vescicale e, in un caso, la presenza di un ematoma retroperitoneale che ha reso necessaria l'esclusione di un sanguinamento in atto. In un caso i dettagli della conversione non sono stati riportati.

Fondamentale per il nostro studio è stato il calcolo del tempo operatorio. Di seguito (Tabella 6) si riportano i dati complessivi per questo parametro dei 150 interventi eseguiti dall'unità operativa nei cinque anni considerati, rimandando ai paragrafi successivi la sua analisi approfondita.

**Tabella 6-Tempo operatorio, dati complessivi dell'unità operativa**

MEDIA $\pm$ DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
239,37 66,2	75-460	240

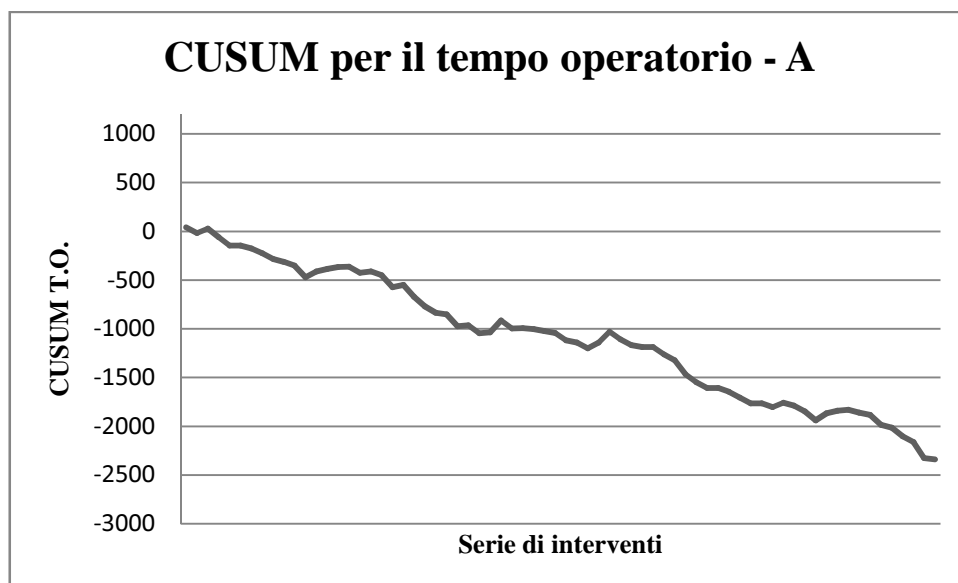
## 6.1 Curva CUSUM per singolo operatore-Tempo operatorio

Come esposto nel paragrafo 5.6, abbiamo costruito le curve d'apprendimento attraverso la tecnica CUSUM e la media mobile, utilizzando il tempo operatorio e il tasso di conversione a chirurgia aperta.

Abbiamo costruito la curva d'apprendimento sui quattro chirurghi dell'unità operativa che hanno eseguito più interventi in qualità di primo operatore e con la maggiore esperienza pregressa, in maniera da poterli considerare come riferimento. In questo modo abbiamo potuto esaminare la solidità della curva d'apprendimento come strumento valutativo.

Esponiamo innanzitutto le curve CUSUM per il tempo operatorio. Il primo operatore che consideriamo, A, ha eseguito 70 interventi di emicolectomia sinistra e sigmoidectomia dal 2010 al 2014.

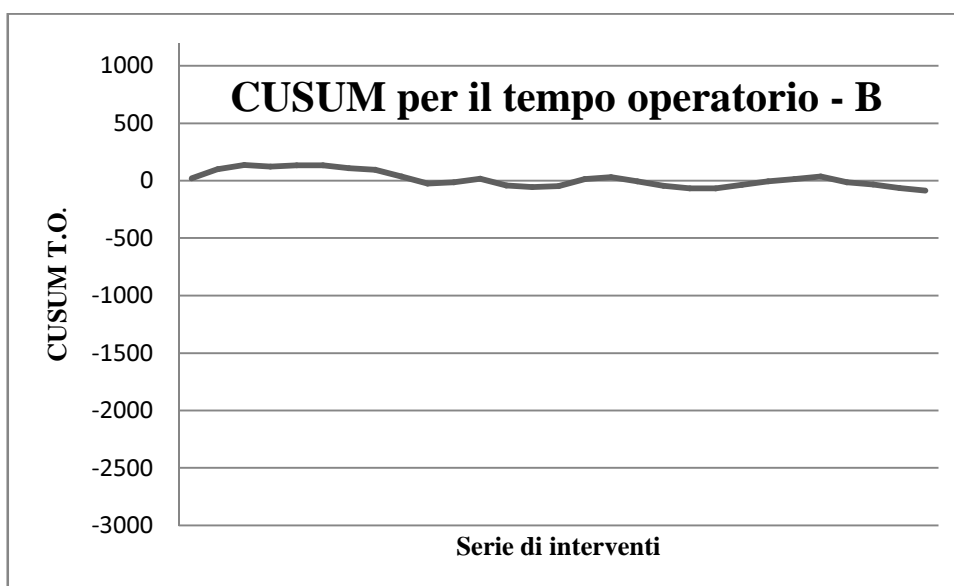
Figura 14-Curva CUSUM per il tempo operatorio dell'operatore A



La curva dell'operatore A è assimilabile ad una linea retta con coefficiente angolare negativo. L'inclinazione rimane costante: ciò significa che il tempo operatorio rimane sotto la media in misura uguale per la selezione di interventi.

Il secondo operatore, B, ha eseguito 29 interventi dal 2010 al 2014.

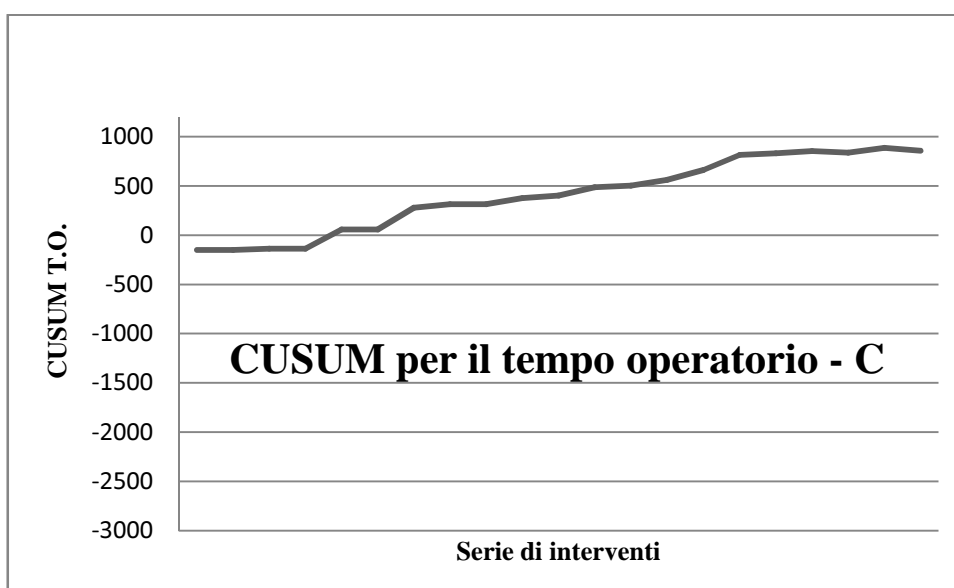
Figura 15 CUSUM per il tempo operatorio dell'operatore B



Notiamo che la curva assume un andamento rettilineo pressoché parallelo all'asse delle ascisse, con valori CUSUM intorno allo zero. L'operatore in questo caso completa gli interventi in un tempo vicino alla media dell'unità operativa, in maniera costante durante il periodo in esame.

Il terzo operatore C ha eseguito 21 interventi dal 2010 al 2014.

Figura 16 CUSUM per il tempo operatorio dell'operatore C



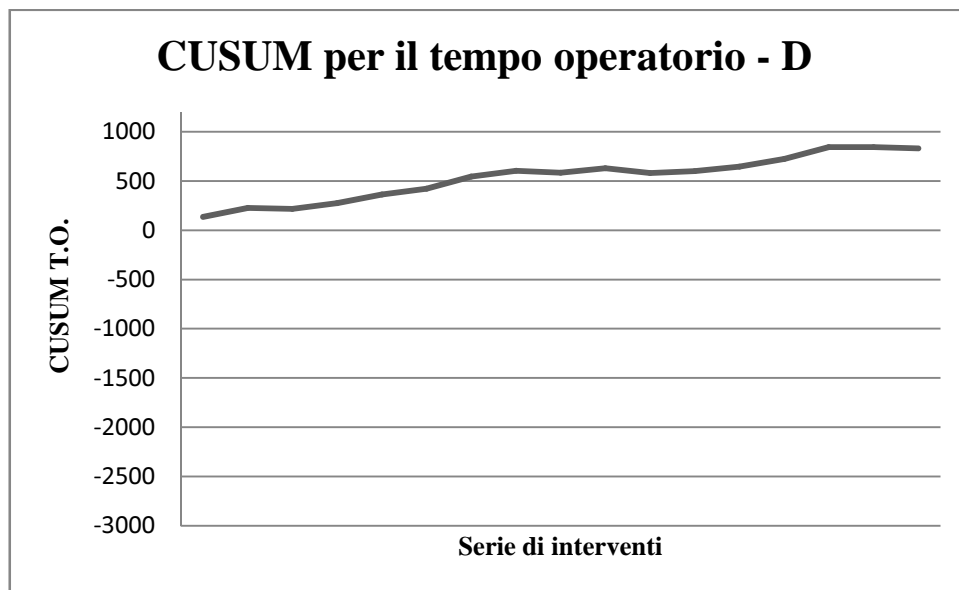
Nel caso dell'operatore C si distinguono tre fasi nella curva: per i primi quattro interventi la curva si mantiene rettilinea e parallela all'asse delle x, indicando che il tempo operatorio si attesta intorno alla media dell'unità operativa. Dal quinto al



sedicesimo intervento la curva si approssima ad una retta con coefficiente angolare positivo: il chirurgo ha mantenuto per questo gruppo di interventi una differenza di tempo positiva rispetto alla media. Infine, negli ultimi cinque casi, il chirurgo diminuisce nuovamente il suo tempo operatorio tornando a valori prossimi alla media dell'unità operativa.

Il quarto operatore D ha eseguito 17 interventi dal 2010 al 2014.

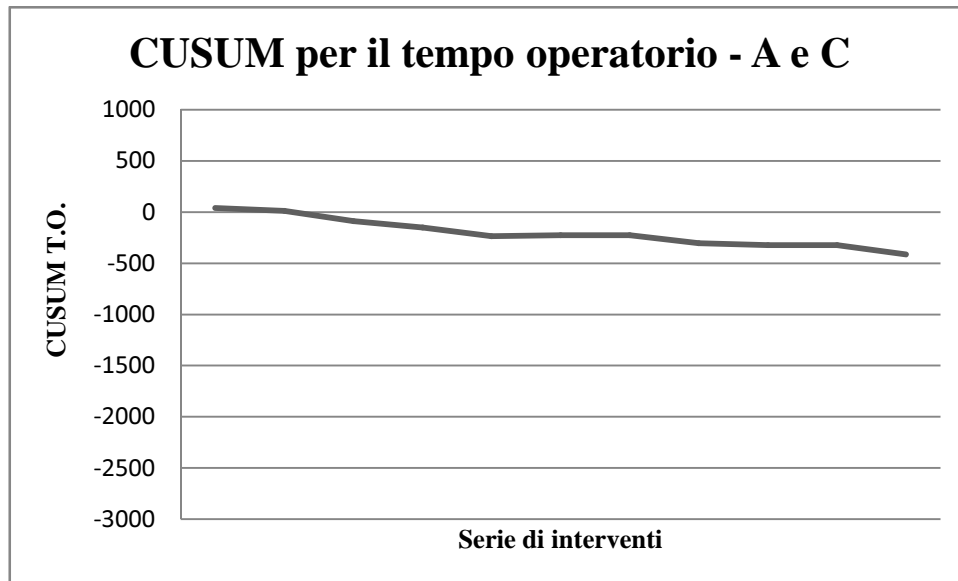
**Figura 17 CUSUM per il tempo operatorio dell'operatore D**



La curva dell'operatore D è nuovamente approssimabile ad una retta con coefficiente angolare positivo: il chirurgo mantiene i tempi operatori stabili e superiori alla media nel periodo selezionato.

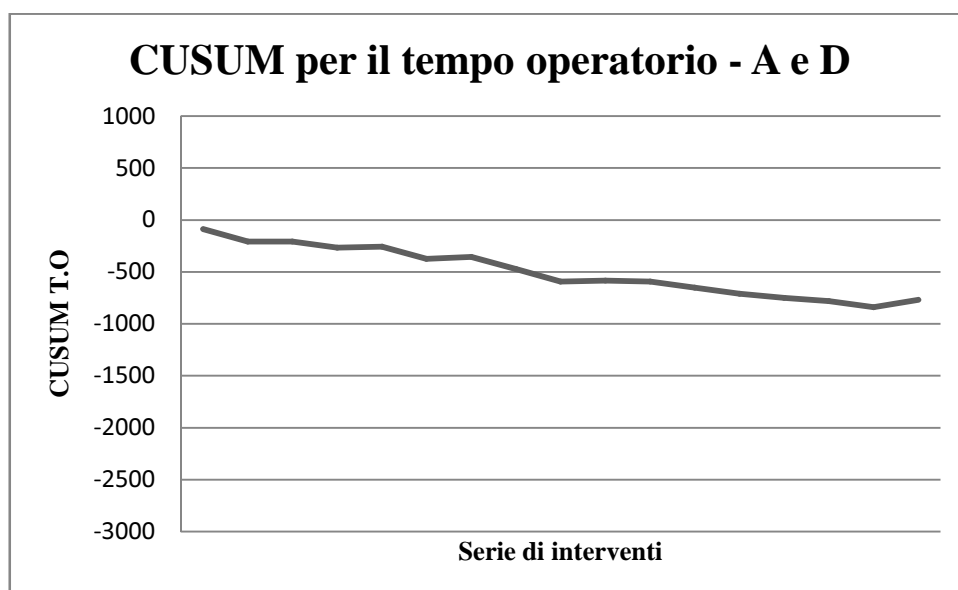
## 6.2 Curva CUSUM per coppie di operatori-tempo operatorio

Figura 18 CUSUM per il tempo operatorio della coppia di operatori A e C



Il grafico rappresenta la curva CUSUM per il team operatorio composto dai chirurghi A e C, che hanno eseguito 11 operazioni nel periodo considerato. La curva è assimilabile ad una retta con coefficiente angolare negativo, senza cambiamenti di inclinazione. La coppia ha mantenuto il tempo operatorio costantemente inferiore alla media dell'unità operativa.

Figura 19 CUSUM per il tempo operatorio della coppia di operatori A e D



Il grafico rappresenta la curva CUSUM per il team operatorio composto dai chirurghi A e D, che hanno eseguito 17 operazioni nel periodo considerato. Anche in questo caso, la curva è assimilabile ad una retta con coefficiente angolare negativo. Il *team* ha mantenuto il tempo operatorio costantemente inferiore alla media dell'unità operativa.

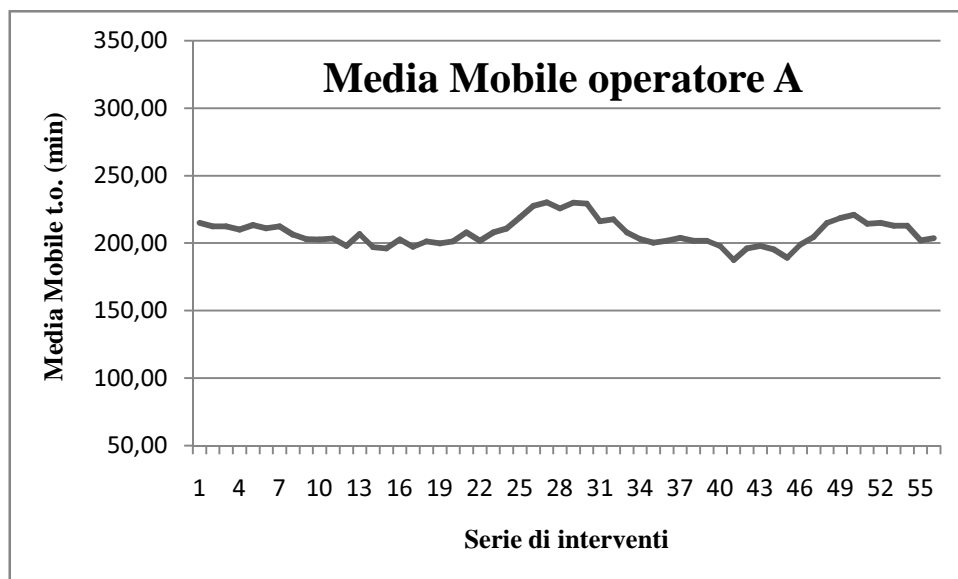
### 6.3 Curva della media mobile per singolo operatore-tempo operatorio

Consideriamo ora la curva di apprendimento per il tempo operatorio costruita secondo la tecnica della media mobile.

Tabella 7 -Dati tempo operatorio operatore A

MEDIA $\pm$ DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
205,93 $\pm$ 56,69	75-360	205

Figura 20-Media mobile per il tempo operatorio dell'operatore A

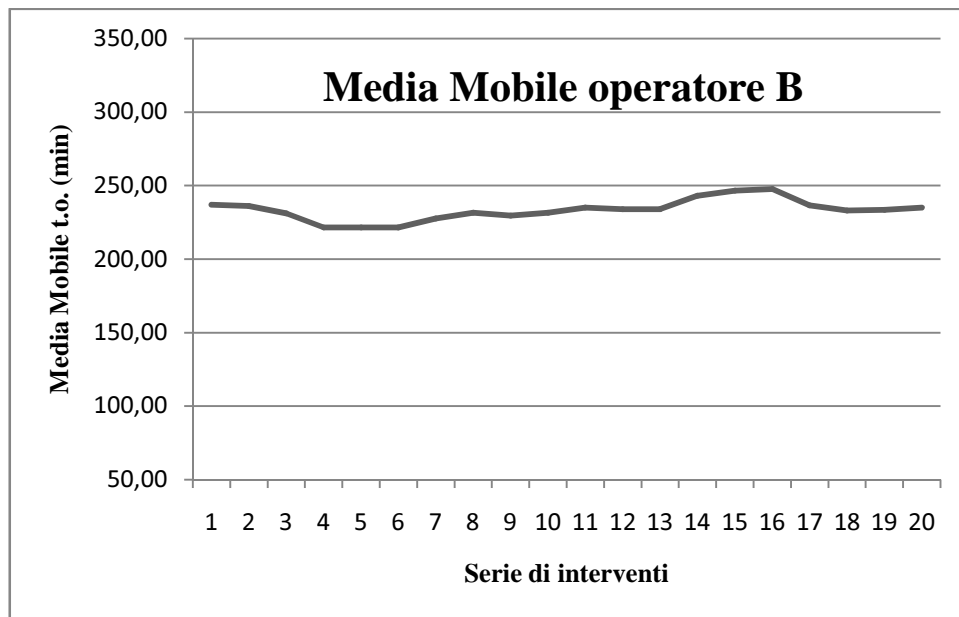


Il grafico della media mobile dell'operatore A è stato costruito con ordine 15, visto che questo ordine minimizza le fluttuazioni a breve termine rendendo più evidente l'andamento della curva. Notiamo come il punteggio della media mobile si mantiene approssimativamente costante intorno al valore di 205 minuti (valore mediano). Si notano due oscillazioni, dal 21esimo al 30esimo intervento e dal 47esimo al 53esimo intervento. Queste oscillazioni esprimono una differenza di tempo operatorio dell'ordine di decine di minuti, il che conferma la stabilità della curva.

**Tabella 8 Dati tempo operatorio operatore B**

MEDIA $\pm$ DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
236,38 $\pm$ 35,48	180-320	240

**Figura 21 Media mobile per il tempo operatorio dell'operatore B**

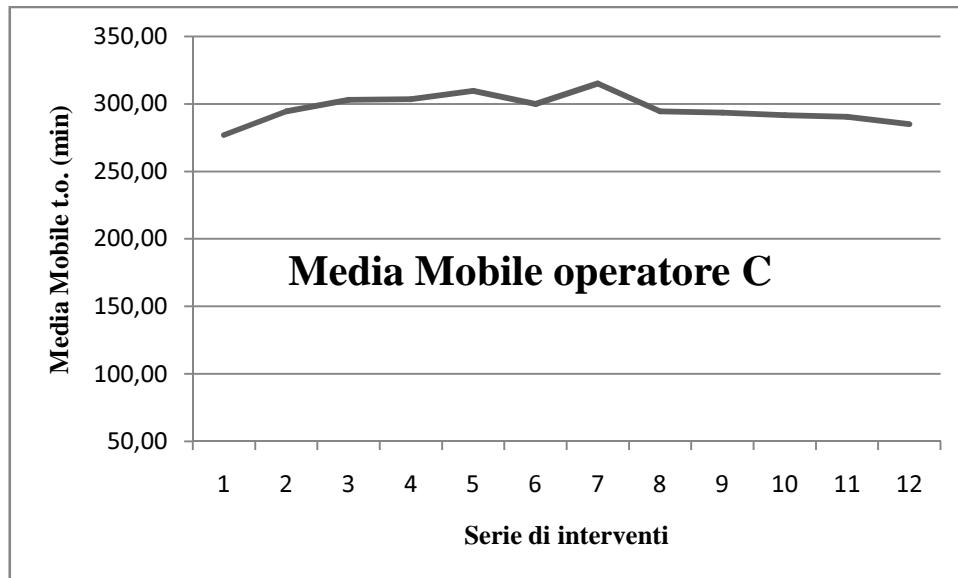


Il grafico della media mobile dell'operatore B è stato costruito con ordine 10, per le ragioni già esposte, ossia che minimizza le fluttuazioni a breve termine rendendo più evidente l'andamento generale. Notiamo come, anche in questo caso, il punteggio della media mobile si mantiene approssimativamente costante intorno al valore di 240 minuti (valore mediano). In questa curva l'andamento della media dei tempi operatori tende ad aumentare, ma va specificato che questa variazione arriva al massimo a 20 minuti.

**Tabella 9 Dati tempo operatorio operatore C**

MEDIA±DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
280,34±80,21	90-460	265

**Figura 22 Media mobile per il tempo operatorio dell'operatore C**

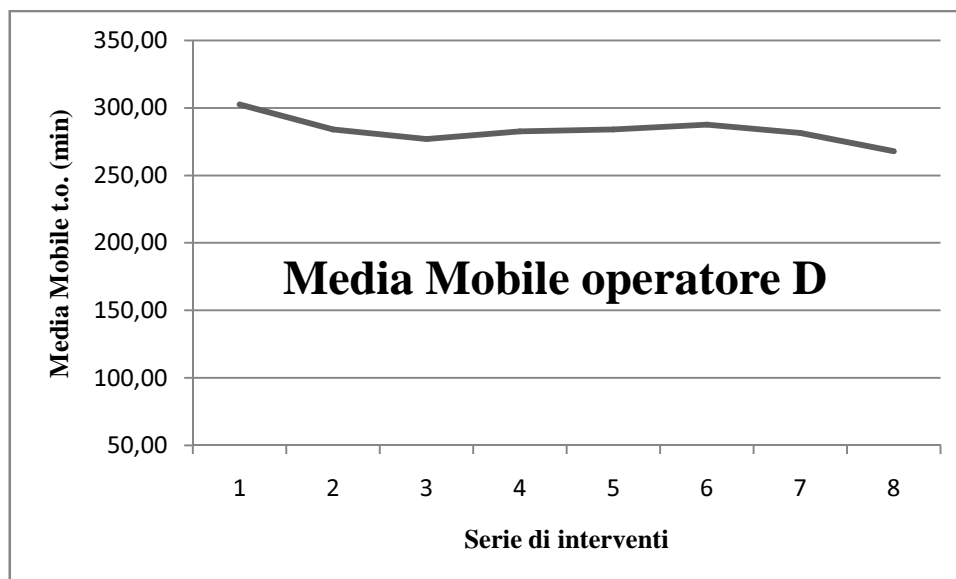


Il grafico della media mobile dell'operatore C è stato costruito con ordine 10. Anche in questo caso, il punteggio della media mobile si mantiene costante, con un picco al settimo intervento. Nella restante parte della curva l'oscillazione della media mobile è vicina al valore mediano dei tempi operatori di 265 minuti.

**Tabella 10 Dati tempo operatorio operatore D**

MEDIA $\pm$ DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
288,24 $\pm$ 54,14	190-375	300

**Figura 23 Media mobile per il tempo operatorio dell'operatore D**



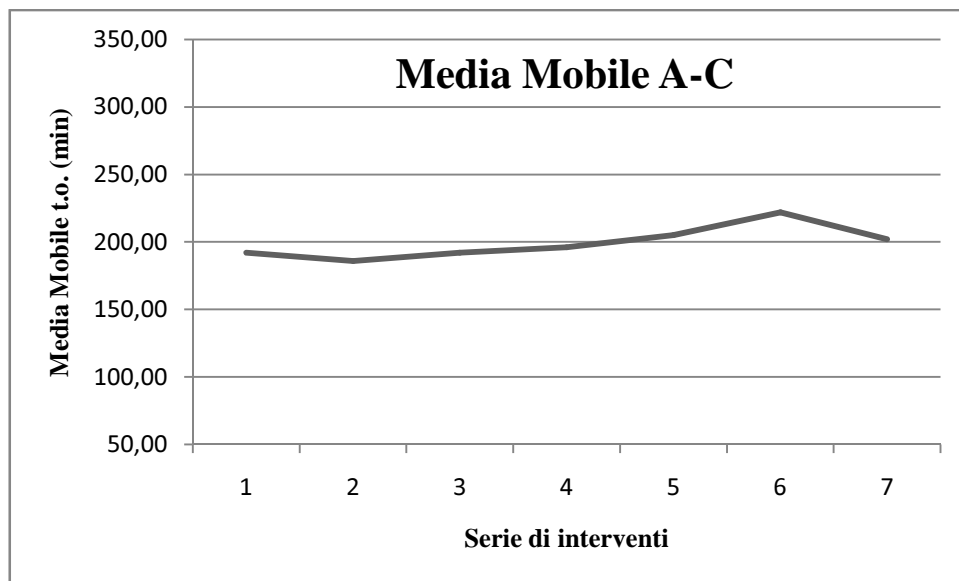
Il grafico della media mobile dell'operatore D è stato costruito con ordine 10. Notiamo che, nonostante il valore mediano dei tempi operatori sia di 300 minuti, la curva della media mobile tende a diminuire al procedere degli interventi, partendo proprio dal valore di 300.

## 6.4 Curva della media mobile per coppie di operatori-tempo operatorio

Tabella 11 Dati tempo operatorio per gli operatori A e C

MEDIA±DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
201,81±47,87	140-280	210

Figura 24 Media mobile per il tempo operatorio della coppia di operatori A e C

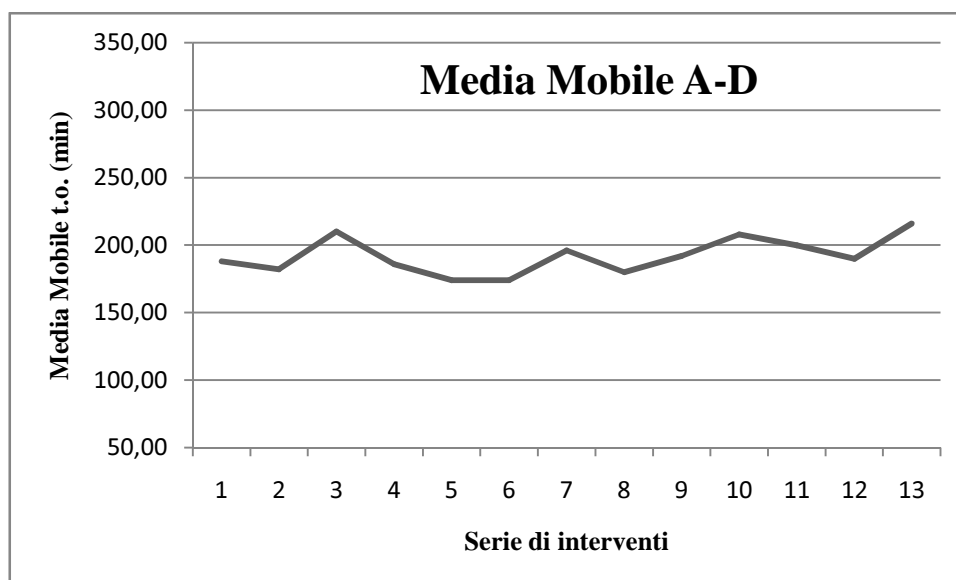


Il grafico rappresenta la curva della media mobile per il team operatorio composto dai chirurghi A e C, che hanno eseguito 11 operazioni nel periodo considerato. Il periodo utilizzato è 5. Le prestazioni sono rimaste costanti, con un picco isolato alla sesta operazione.

**Tabella 12 Dati tempo operatorio per gli operatori A e D**

MEDIA±DS (min)	RANGE (min)	MEDIANA (min)
194,12±57,23	120-310	180

**Figura 25 Media mobile per il tempo operatorio della coppia di operatori A e D**



Il grafico rappresenta la curva della media mobile per il team operatorio composto dai chirurghi A e D, che hanno eseguito 17 operazioni nel periodo considerato. Il periodo utilizzato è 5. I tempi operatori sono rimasti nel complesso costanti con alcune oscillazioni localizzate, dell'ordine di alcuni minuti.



## 6.5 Curva CUSUM per singolo operatore-Conversione open

Per quanto riguarda la curva CUSUM per la conversione a chirurgia aperta, notiamo i cambi di inclinazione della curva: se la retta che approssima la curva ha un coefficiente angolare positivo, c'è stata conversione, altrimenti la conversione non si è verificata.

Figura 26 Curva CUSUM per la conversione open dell'operatore A

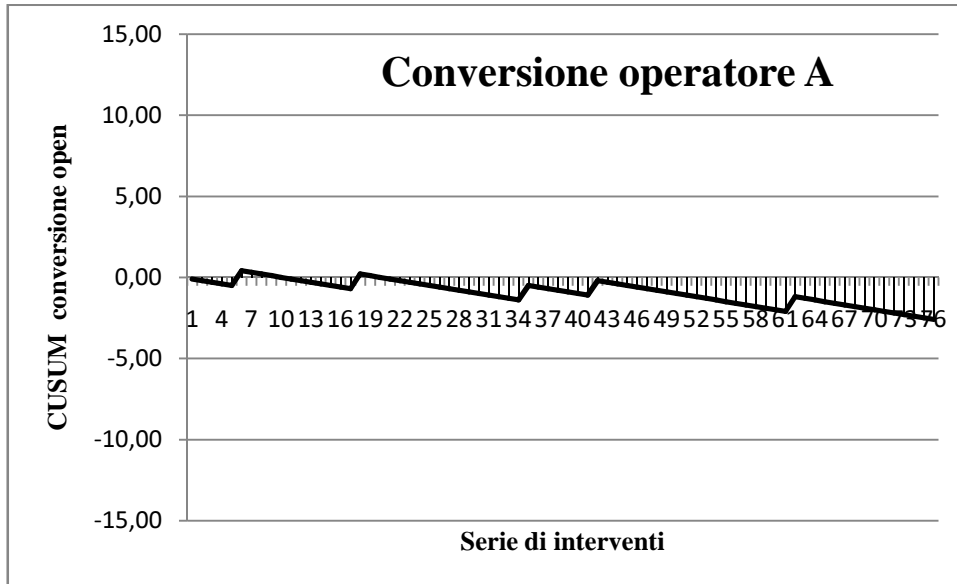
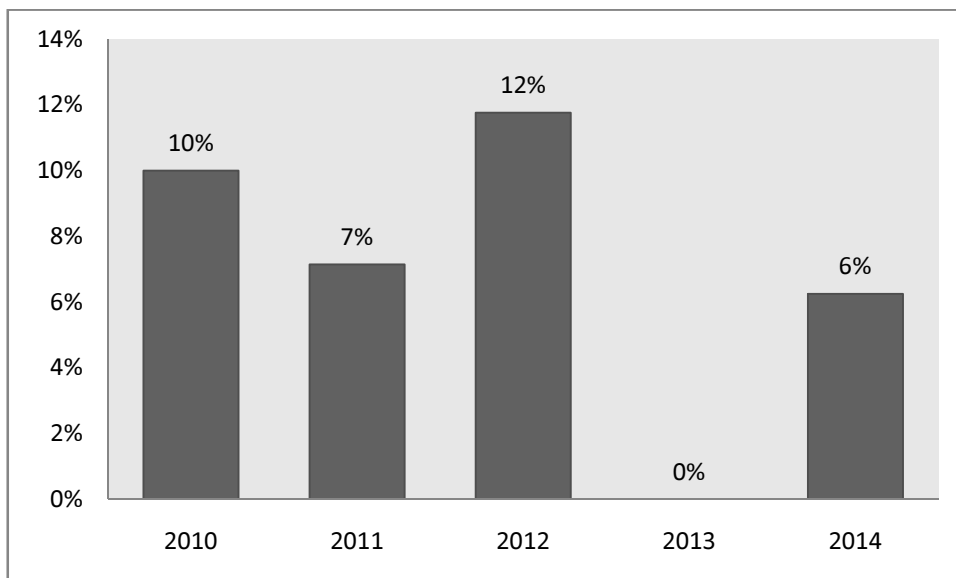
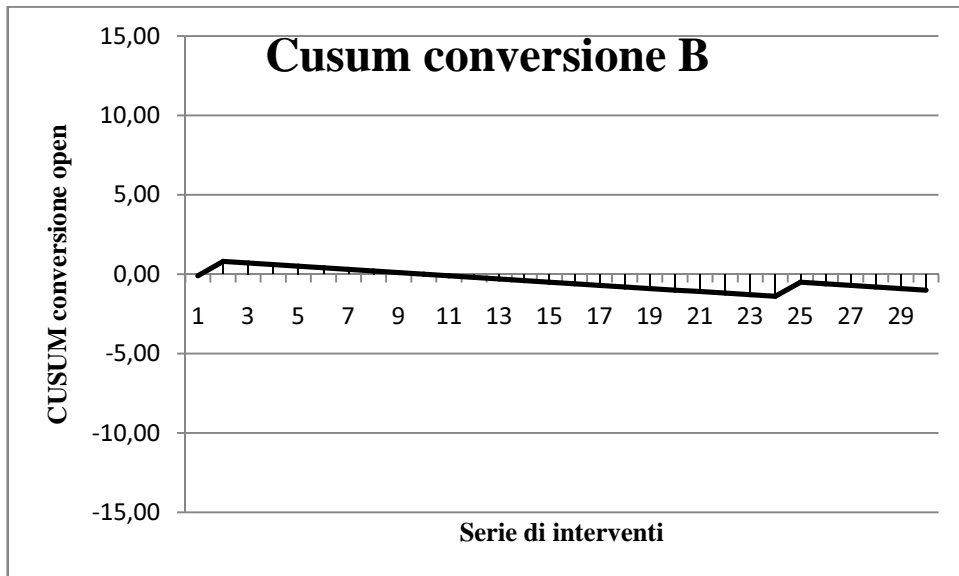


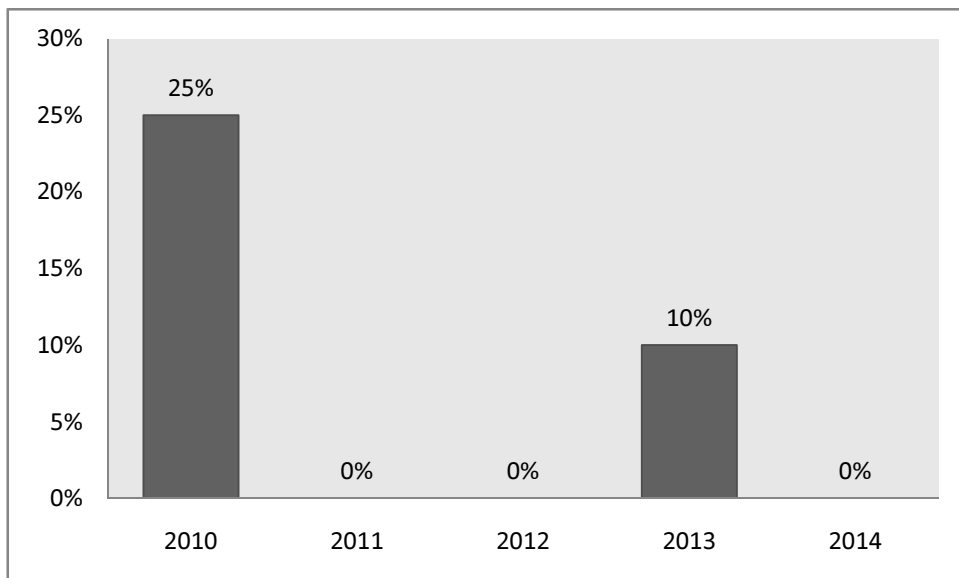
Figura 27 Conversioni per anno in percentuale-operatore A



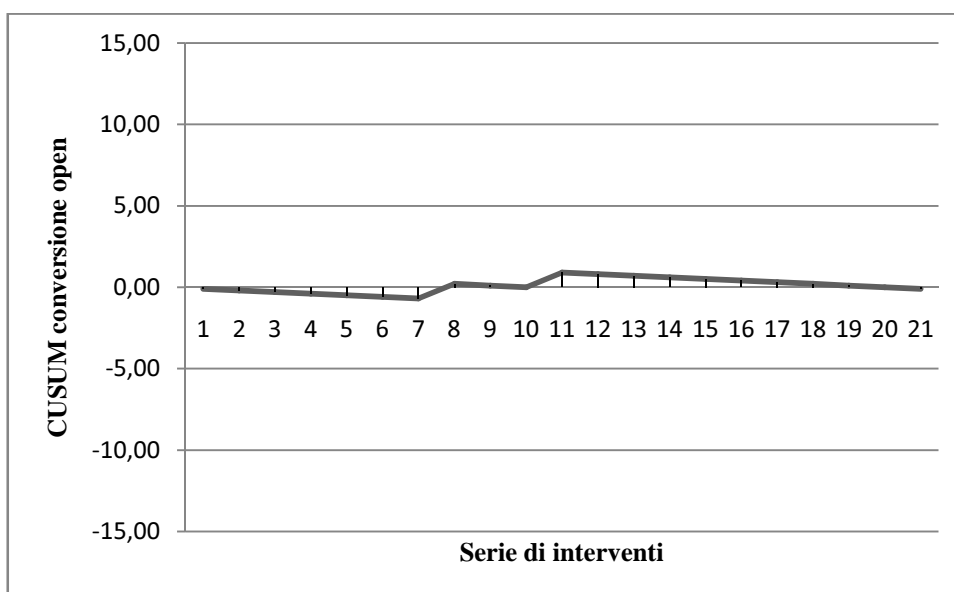
**Figura 28 Curva CUSUM per la conversione open dell'operatore B**



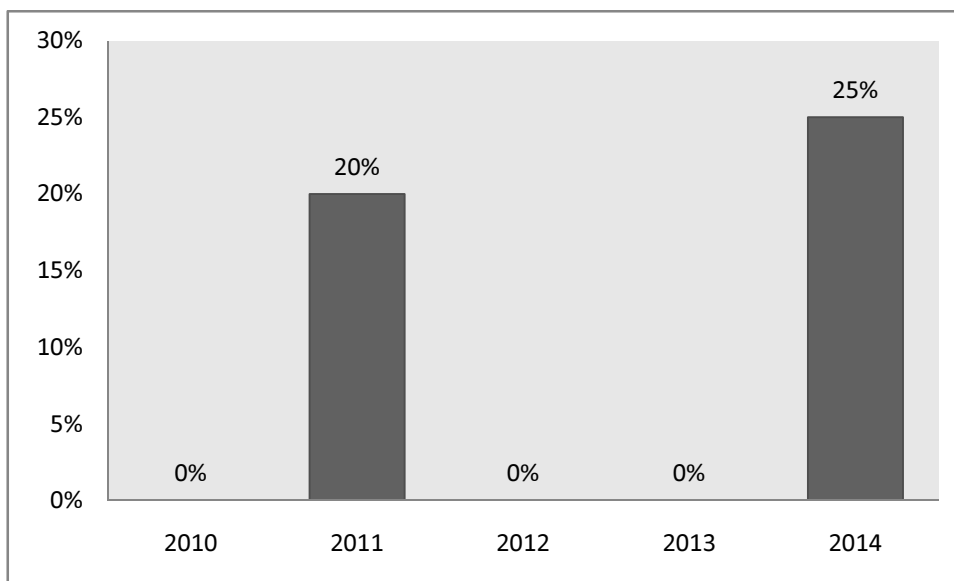
**Figura 29 Conversioni per anno in percentuale-operatore B**



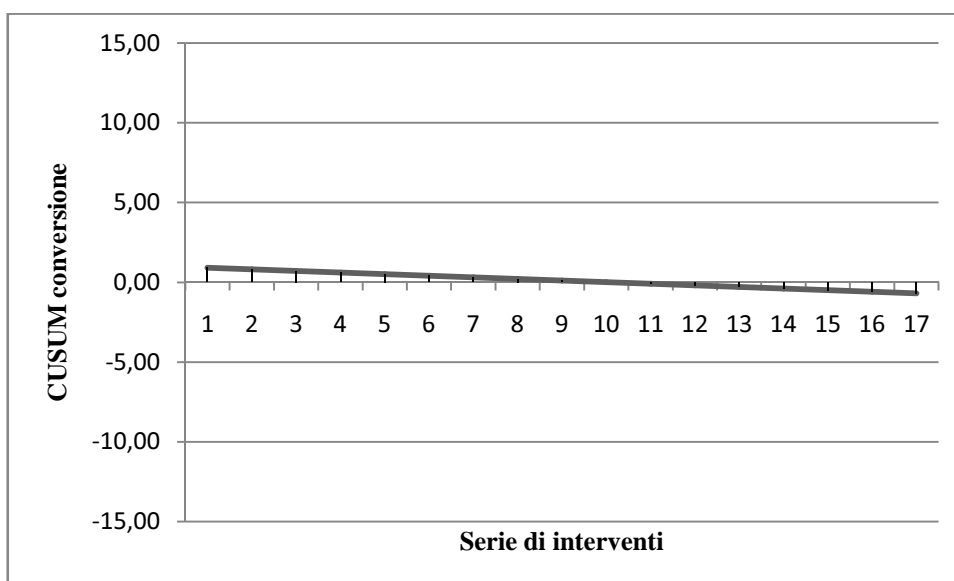
**Figura 30 CUSUM per la conversione open dell'operatore C**



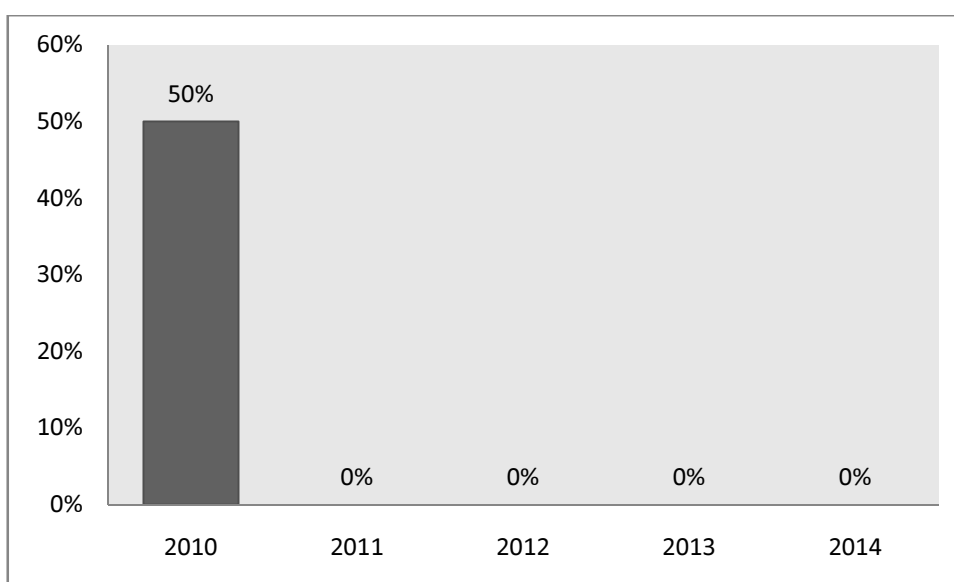
**Figura 31 Conversioni per anno in percentuale-operatore C**



**Figura 32 CUSUM per la conversione open dell'operatore D**



**Figura 33 Conversioni per anno in percentuale-operatore D**



## 7 Discussione

Per il nostro studio sono stati rilevanti i dati collegati all'intervento chirurgico, cioè il tempo operatorio e il tasso di conversione a chirurgia aperta. Per quanto riguarda il tempo operatorio, abbiamo rilevato che la media dell'unità operativa, per gli interventi di emicolectomia sinistra e sigmoidectomia, si attesta sui 240 minuti.

Il tasso di conversione a chirurgia aperta nello studio si è rivelato minore del 7%.

Importanti anche i dati clinici: la durata del ricovero e le complicanze del post-operatorio. La durata del ricovero nel nostro studio è di 8 giorni, mentre il tasso di complicanze si attesta al 15%.

La curva d'apprendimento in chirurgia laparoscopica coloretale è stata analizzata da numerosi studi, che si prefiggevano lo scopo di calcolare il numero di operazioni a seguito delle quali il chirurgo poteva dire di essere uscito dalla fase ascendente della curva e di essere quindi completamente indipendente, con maggiore sicurezza dei pazienti. Negli ultimi anni lo scopo della ricerca focalizzata sulla curva d'apprendimento è stato quello prima di calcolarla, e poi di eliminarla dalla sala operatoria.

Consultando la letteratura, vediamo che Bennett et al. [29] hanno calcolato una curva d'apprendimento di circa 40 casi su una serie di 1194 emicolectomie laparoscopiche; Dincler et al. [27] hanno invece proposto una curva d'apprendimento elaborata su 70-80 casi per gli interventi di sigmoidectomia; mentre Tekkis et al. hanno calcolato una curva d'apprendimento di 62 casi per l'emicolectomia sinistra.

Uno degli studi dove la curva d'apprendimento è stata calcolata per il singolo chirurgo e non per l'unità operativa nel suo complesso, come in questo lavoro di tesi, è stato quello di Schlachta et al.[16], del 2001, dove sono stati utilizzati come criteri il tempo operatorio, la durata del ricovero e il tasso di conversione a chirurgia aperta. In questo caso la curva si è rivelata essere di 30 procedure su una serie di 461 pazienti.

La rappresentazione grafica delle variazioni del tempo operatorio e del tasso di conversione corrisponde alla curva d'apprendimento dei chirurghi considerati.

Si presuppone che i chirurghi migliorino con l'esperienza, in maniera che, dopo un certo numero di casi, i criteri considerati come indicatori della performance raggiungano lo stato stazionario.

La tecnica CUSUM e la tecnica della media mobile consentono la rappresentazione grafica delle variazioni degli indicatori di performance nel corso del tempo. La tecnica CUSUM è adeguata per l'analisi prospettica dei risultati di una nuova procedura o dei chirurghi in training, perché identifica gli insuccessi rapidamente, facendo emergere l'andamento della variabile considerata. Consente di visualizzare prontamente sia i cambiamenti improvvisi che quelli più gradualmente. Nella pratica clinica può quindi essere utile per monitorare il comportamento dell'*equipe* chirurgica e valutare eventuali cambiamenti della performance. La media mobile fornisce una rappresentazione immediata dei tempi operatori, o di altre variabili continue, del singolo chirurgo o dell'*equipe*.

I criteri che riteniamo debbano essere presi in considerazione, come è stato esposto precedentemente nel paragrafo 3.1, fanno riferimento a due categorie: quelli attinenti al procedimento chirurgico e quelli inerenti agli esiti clinici sul paziente.

Molti studi fanno riferimento al solo tempo operatorio per il calcolo della curva d'apprendimento. La velocità nell'eseguire la procedura è uno dei criteri di valutazione per quanto riguarda la tecnica, ma un chirurgo veloce non è necessariamente un bravo chirurgo [27]: il tempo operatorio come solo indicatore delle performance potrebbe essere un criterio inadeguato, in quanto una procedura eseguita più velocemente potrebbe essere dovuta ad una selezione di pazienti diversa, o potrebbe provocare un tasso maggiore di complicanze nel post-operatorio.

Per questo motivo ci siamo riferiti agli studi che hanno valutato l'apprendimento in maniera multidimensionale, come lo studio di Schlachta et al. [16], dove sono stati utilizzati sia criteri clinici che di tecnica chirurgica.

Abbiamo costruito la curva d'apprendimento sia sul tempo operatorio che sul tasso di conversione a chirurgia aperta, completando quindi le curve sui criteri tecnici, non potendo però disegnare la curva sul tasso di complicanze e sulla morbidità nel post-operatorio, per difficoltà di accesso ai dati.

Una difficoltà nel definire e calcolare una curva d'apprendimento è la standardizzazione della procedura. Con i pazienti reali la standardizzazione non è possibile, ma può essere realizzata in un contesto didattico, come i laboratori dove si utilizzano simulatori, dove sarebbe possibile valutare l'apprendimento e comparare individui diversi.

In un contesto di questo tipo, alcuni autori, come Grantcharov hanno proposto metodi alternativi di valutazione della curva di apprendimento, importando competenze da altri settori, come l'aviazione. La proposta è di definire la curva valutando la destrezza e l'economia dei movimenti in un ambiente didattico altamente standardizzato, fuori dalla sala operatoria.

Considerando ancora competenze tratte da settori diversi, possiamo valutare il ruolo nella chirurgia del modello matematico classico della curva di apprendimento di Wright (2.3). Nel momento in cui questo modello viene utilizzato in un contesto standard, può essere uno strumento predittivo delle performance chirurgiche.

In un contesto didattico è infatti ipotizzabile che, come succede nell'industria manifatturiera, le abilità e l'economia dei movimenti di un chirurgo migliorino in maniera costante e predicibile con il ripetersi degli esercizi. Il modello matematico di Wright potrebbe quindi essere utilizzato per predire quando il chirurgo in formazione è pronto a lasciare il *setting* educativo ed entrare in sala operatoria, minimizzando la curva d'apprendimento e migliorando la sicurezza dei pazienti.

La curva di Wright potrebbe risultare vantaggiosa anche in una fase più precoce della formazione medica. Se calcolata dopo un adeguato training educativo, la curva di Wright potrebbe essere utilizzata negli ultimi anni del corso di studi in medicina e chirurgia per orientare gli studenti più portati verso la scelta di una specializzazione chirurgica, o sui chirurghi in formazione specialistica, per valutare le abilità individuali e indirizzare i più portati verso le tecniche laparoscopiche.

Un ulteriore arricchimento alla ricerca in questo campo potrebbe derivare dalla collaborazione con esperti matematici, statistici e psicologi: i primi apporterebbero un contributo fondamentale all'analisi dei dati, raccolti in maniera prospettica in sala operatoria e in fase di training, mentre gli ultimi consentirebbero una valutazione approfondita dell'attitudine alla professione del chirurgo.

Nel nostro lavoro i chirurghi hanno dimostrato di mantenere un tempo operatorio e un tasso di conversione stabili, sia come singoli operatori che come team formato da primo e secondo operatore: non è stato rilevato, nella costruzione della curva, un picco con un conseguente cambio di inclinazione, che avrebbe indicato un cambiamento nelle performance.

I chirurghi presi in considerazione hanno un'esperienza decennale nella chirurgia laparoscopica generale e del colon-retto, sia in qualità di primi che di secondi operatori: possiamo affermare che siano autonomi nel completare la procedura e che quindi, riferendoci ai risultati riscontrati in letteratura, si trovino nella fase di *plateau* della curva.

Le curve da noi costruite hanno quindi valutato correttamente la posizione dei quattro chirurghi sulla curva d'apprendimento, non avendo rilevato cambiamenti della performance, confermando la loro validità come strumenti didattici in ambito chirurgico.

## 8 Conclusioni

In questa tesi abbiamo confermato la validità della curva d'apprendimento, calcolata con la tecnica della somma cumulativa e della media mobile, come strumento di valutazione dell'operato chirurgico. Proponiamo che la curva d'apprendimento non venga valutata unicamente tramite il tempo operatorio, ma anche tramite il tasso di conversione, come da noi esposto, aggiungendo anche criteri clinici come le complicanze e la morbidità conseguente all'operazione chirurgica.

L'utilizzo di questo metodo può risultare utile per il monitoraggio dell'operato di un'equipe chirurgica, per la formazione di chirurghi che iniziano la pratica, per il perfezionamento di chirurghi esperti che sperimentano una nuova tecnica o per l'orientamento degli studenti alla fine del corso di studi.

In conclusione, le tecniche da noi considerate, se applicate in un contesto didattico standardizzato tramite l'unione delle competenze di settori diversi, possono minimizzare la curva d'apprendimento e, in ultima analisi, migliorare la sicurezza dei pazienti.



## 9 Note bibliografiche

1. Doherty, G.M., *Current diagnosis and treatment surgery*. 13th edition ed.
2. Keith L. Moore, A.M.R.A., Arthur F. Dalley, *Essential Clinical Anatomy*.
3. Slam, K.D., S. Calkins, and F.D. Cason, *LaPlace's law revisited: cecal perforation as an unusual presentation of pancreatic carcinoma*. World J Surg Oncol, 2007. **5**: p. 14.
4. Ellis, H., *Anatomy of the caecum, appendix and colon*. 2010.
5. Mahadevan, V., *Anatomy of the rectum and anal canal*.
6. Beart, R. *Rectal Embryology and Functional Anatomy*. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=AGWSb8efetQ>.
7. Hill, M.A. *Embryology Gastrointestinal Tract - Intestine Development*. Available from: [https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Gastrointestinal\\_Tract\\_-\\_Intestine\\_Development](https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Gastrointestinal_Tract_-_Intestine_Development).
8. Ritter, F.E., & Schooler, L. J., *The learning curve*. 2002.
9. Ebbinghaus, H., *Memory. A Contribution to Experimental Psychology*. 1885.
10. Noè, C. *Curva d'apprendimento*. Available from: <http://my.liuc.it/>.
11. <http://derandomized.com/> . A blog on thoughts on data science, e., and economics. 2013.
12. Hopper, A.N., M.H. Jamison, and W.G. Lewis, *Learning curves in surgical practice*. Postgrad Med J, 2007. **83**(986): p. 777-9.
13. Jackson, C.R. and K.P. Gibbin, *'Per ardua...'Training tomorrow's surgeons using inter alia lessons from aviation*. J R Soc Med, 2006. **99**(11): p. 554-8.
14. Ferguson, E., D. James, and L. Madeley, *Factors associated with success in medical school: systematic review of the literature*. Bmj, 2002. **324**(7343): p. 952-7.
15. Hasan, A., M. Pozzi, and J.R. Hamilton, *New surgical procedures: can we minimise the learning curve?* Bmj, 2000. **320**(7228): p. 171-3.
16. Schlachta, C.M., et al., *Defining a learning curve for laparoscopic colorectal resections*. Dis Colon Rectum, 2001. **44**(2): p. 217-22.
17. Tekkis, P.P., et al., *Evaluation of the learning curve in laparoscopic colorectal surgery: comparison of right-sided and left-sided resections*. Ann Surg, 2005. **242**(1): p. 83-91.

18. Pitiakoudis, M., et al., *Quality training in laparoscopic colorectal surgery: does it improve clinical outcome?* Tech Coloproctol, 2011. **15 Suppl 1**: p. S17-20.
19. Toledano Trincado, M., et al., *How to reduce the laparoscopic colorectal learning curve.* Jsls, 2014. **18**(3).
20. Foundation., L.S.S. [www.lss-surgical.eu](http://www.lss-surgical.eu)
21. Grantcharov, T.P. and P. Funch-Jensen, *Can everyone achieve proficiency with the laparoscopic technique? Learning curve patterns in technical skills acquisition.* Am J Surg, 2009. **197**(4): p. 447-9.
22. Carlos M. Mery, J.A.G., Ash Patel, Nikhil P. Jaik,, *Teaching and assessing the ACGME competencies in surgical residency.* 2008.
23. Grantcharov, T.P. *Surgical Black Box Improves Performance & Safety?* 2015; Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=O4gP6JkJ2YI>.
24. ERICSSON, K.A., *Deliberate Practice and the Acquisition and Maintenance of Expert Performance in Medicine and Related Domains.* 2003.
25. Bokhari, M.B., et al., *Learning curve for robotic-assisted laparoscopic colorectal surgery.* Surgical Endoscopy, 2010. **25**(3): p. 855-860.
26. LIM, T.O., et al., *Assessing doctors' competence: application of CUSUM technique in monitoring doctors' performance.* International Journal for Quality in Health Care, 2002. **14**(3): p. 251-258.
27. Dincler, S., et al., *Multidimensional analysis of learning curves in laparoscopic sigmoid resection: eight-year results.* Dis Colon Rectum, 2003. **46**(10): p. 1371-8; discussion 1378-9.
28. Kim, C.W., et al., *Learning Curve for Single-Incision Laparoscopic Anterior Resection for Sigmoid Colon Cancer.* J Am Coll Surg, 2015.
29. Bennett, C.L., et al., *The learning curve for laparoscopic colorectal surgery. Preliminary results from a prospective analysis of 1194 laparoscopic-assisted colectomies.* Arch Surg, 1997. **132**(1): p. 41-4; discussion 45.